



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE 141599

**ANALISIS KESTABILAN TRANSIEN DAN KOORDINASI
PROTEKSI PADA PT. KALTIM METHANOL INDUSTRI AKIBAT
INTEGRASI DENGAN SISTEM 11 kV
PT. KALTIM DAYA MANDIRI.**

S. Andri Murtopo
NRP 2211 100 048

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - TE 141599

***TRANSIENT STABILITY ANALYSIS AND PROTECTION
COORDINATION IN PT. KALTIM METHANOL INDUSTRI DUE
TO INTEGRATION WITH SYSTEM 11 kV
PT. KALTIM DAYA MANDIRI***

S. Andri Murtopo
NRP 2211 100 048

Lecturer
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2015

**ANALISIS KESTABILAN TRANSIEN DAN KOORDINASI
PROTEKSI PADA PT. KALTIM METHANOL INDUSTRI
AKIBAT INTEGRASI DENGAN SISTEM 11 kV
PT. KALTIM DAYA MANDIRI**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

Pada

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I,

Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
NIP. 196603181990101001

Dosen Pembimbing II,

Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.
NIP. 197309271998031004



ANALISIS KESTABILAN TRANSIEN DAN KOORDINASI PROTEKSI PADA PT. KALTIM METHANOL INDUSTRI AKIBAT INTEGRASI DENGAN SISTEM 11 kV PT. KALTIM DAYA MANDIRI.

Nama : S. Andri Murtopo
Pembimbing I : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Pembimbing II : Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.

ABSTRAK

Integrasi PT. Kaltim Methanol Industri dengan PT. Kaltim Daya Mandiri bertujuan untuk menjaga kontinuitas aliran daya pada PT. Kaltim Methanol Industri. Integrasi sistem ini menyebabkan perubahan nilai arus hubung singkat sistem dan penambahan rele. Oleh karena itu diperlukan analisis kestabilan transien dan koordinasi proteksi untuk agar sistem dapat beroperasi normal dan mencegah kerusakan peralatan listrik saat terjadi gangguan.

Analisa koordinasi proteksi kondisi eksisting sebelum sistem terintegrasi terdapat kesalahan pada *setting* I_{pickup} rele arus lebih dan *grading time* rele. Oleh karena itu, untuk memperbaiki kesalahan *setting* tersebut, pada sistem yang telah diintegrasi dilakukan perhitungan manual berdasarkan standar yang ada. Hasil perhitungan ini menjadi dasar untuk *resetting* rele arus lebih (OCR) fasa dan *ground* sehingga sistem yang telah terintegrasi dapat beroperasi dengan normal.

Analisa kestabilan transien yang dilakukan meliputi generator *outage*, *short circuit*, dan motor *starting*. Hasil simulasi menunjukkan ketika terjadi *short circuit* pada bus 11 kV, tegangan sistem mengalami penurunan yang begitu cepat dan akhirnya kembali stabil saat *circuit breaker* didekat gangguan di *open*. Ketika generator pada PT. Kaltim Daya Mandiri lepas, perlu dilakukan mekanisme *load shedding* serta pemasangan rele *undervoltage* dan rele *under* frekuensi sebagai *back up*. Selain itu, pelepasan generator akan menyebabkan aliran daya mengalir kembali ke generator sehingga diperlukan pemasangan rele *reverse power*.

Kata Kunci : koordinasi proteksi, *grading time*, OCR, kestabilan transien, *load shedding*.

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

TRANSIENT STABILITY ANALYSIS AND PROTECTION COORDINATION IN PT. KALTIM METHANOL INDUSTRI DUE TO INTEGRATION WITH SYSTEM 11 kV PT. KALTIM DAYA MANDIRI

Name : S. Andri Murtopo
Advisor I : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Advisor II : Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.

ABSTRACT

The aims of PT. Kaltim Methanol Industri with PT. Kaltim Daya Mandiri integration is to maintain power flow continuity in PT. Kaltim Methanol Industri. This system integration caused the changes of short circuit current and addition of protection relay. Therefore, it's necessary to analyze transient stability and protection coordination to maintains system to operate normally and prevent damage on electrical equipment when disturbance occurred.

There are some error in the setting Pickup relay and grading time overcurrent relay on protection coordination of existing condition before systems integrated. Therefore, protection coordination of integrated system needs to be calculated manually based on existing standards. The result of this calculation is used as the basic for resetting overcurrent relay (OCR) phase and ground so that the integrated system can operate normally.

Transient stability analysis include generator outage, short circuit, and motor starting. The simulation results show if short circuit occurred on bus 11 kV, the voltage of the system experienced a rapid decline but stabilized when circuit breaker near the fault line open. When the generator at PT. Kaltim Daya Mandiri outage, load shedding mechanism and installation of undervoltage and under frequency relay is needed as backup. In addition, the outage generator caused reverse power flow to generator so it's required installation of reverse power relays.

Keywords : protection coordination, grading time, OCR, transient stability, load shedding.

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Robbil 'Alamin, terucap syukur kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat, berkah dan karuniaNya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “**Analisis Kestabilan Transien dan Koordinasi Proteksi pada PT. Kaltim Methanol Industri akibat Integrasi dengan Sistem 11 kV PT. Kaltim Daya Mandiri**”.

Tujuan dari penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai salah satu persyaratan untuk mendapatkan gelar sarjana teknik pada bidang studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Pengerjaan tugas akhir ini tentu tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Bpk. Misjan Priyono dan Ibu Endang Supirahayu, yang selalu memberikan dukungan, semangat, dan doa untuk keberhasilan penulis.
2. Bapak Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT dan Bapak Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng. selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan saran serta bimbingannya.
3. Seluruh rekan dosen, asisten dan member Laboratorium Instrumentasi Pengukuran dan Identifikasi Sistem Tenaga (LIPIST-B204) atas dukungan, bantuan, kebersamaan dan kerjasamanya selama ini.
4. Seluruh rekan E-51 dan rekan kontrakan atas kebersamaan dan kerjasamanya selama ini.

Besar harapan penulis agar buku ini dapat memberikan manfaat bagi banyak pihak, sehingga penulis sangat mengharapkan kritik dan saran membangun dari seluruh pembaca.

Surabaya, Juni 2015

Penulis,

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

DAFTAR ISI

HALAMAN

JUDUL

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

LEMBAR PENGESAHAN

ABSTRAK..... i

ABSTRACT..... iii

KATA PENGANTAR.....v

DAFTAR ISI vii

DAFTAR GAMBAR..... xi

DAFTAR TABEL xiii

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah..... 1

1.2 Permasalahan 2

1.3 Tujuan..... 2

1.4 Metodologi..... 2

1.5 Sistematika Penulisan..... 3

1.6 Manfaat..... 4

BAB 2 KOORDINASI PROTEKSI DAN KESTABILAN

TRANSIEN SISTEM TENAGA LISTRIK

2.1 Penyebab Terjadinya Gangguan Arus Lebih 5

2.1.1Beban Lebih (*Overload*) 5

2.1.2Hubung Singkat (*Short Circuit*) 5

2.2 Perhitungan Arus Hubung Singkat 6

2.3 Trafo Arus 8

2.4 Rele Arus Lebih 8

2.4.1Rele Arus Lebih Waktu *Inverse* 9

2.4.2Rele Arus Lebih Waktu Tertentu 10

2.4.3Rele Arus Lebih Waktu Instan 11

2.5 *Setting* Rele Arus Lebih 12

2.5.1*Setting* Rele Arus lebih waktu *Inverse* 12

2.5.2*Setting* Rele Arus Lebih Waktu Tertentu..... 14

2.6 Koordinasi Berdasarkan Arus dan Waktu 14

2.7 *Setting* Rele Gangguan ke Tanah..... 15

2.8 Kestabilan Sistem..... 15

2.9	Klasifikasi Kestabilan.....	16
2.9.1	Kestabilan Frekuensi	16
2.9.2	Kestabilan Tegangan.....	17
2.9.3	Kestabilan Sudut Rotor	17
2.10	Hal yang Mempengaruhi Kestabilan Transien	18
2.10.1	Motor <i>Starting</i>	18
2.10.2	Hubung Singkat	18
2.10.3	Perubahan Beban	18
2.11	Mode Operasi Governor	18
2.11.1	Mode <i>Isochronous</i>	19
2.11.2	Mode <i>Droop</i>	19
2.12	Standar yang Berkaitan dengan Kestabilan Transien.....	19
2.12.1	Standar Frekuensi	19
2.12.2	Standar Tegangan	21
2.13	Metode Pelepasan Beban	21
2.13.1	Pelepasan Beban secara Otomatis	22
2.13.2	Pelepasan Beban secara Manual.....	22
2.14	<i>Reverse Power</i>	22
2.15	Standar Pelepasan Beban	23

BAB 3 SISTEM KELISTRIKAN PT. KALTIM METHANOL INDUSTRI

3.1	Sistem Kelistrikan PT. Kaltim Methanol Industri.....	25
3.2	Jumlah Total Pembangkitan, Pembebanan, dan Demand.....	25
3.3	Sistem Pembangkitan	27
3.4	Sistem Distribusi PT. Kaltim Methanol Industri	28
3.5	Beban yang Terdapat di PT. Kaltim Methanol Industri	30

BAB 4 HASIL SIMULASI ANALISIS KESTABILAN TRANSIEN DAN KOORDINASI PROTEKSI PT. KMI

4.1	Pemodelan Sistem Kelistrikan PT. KMI	31
4.2	Pemilihan Tipikal Koordinasi Pada PT. KMI.....	31
4.3	Analisis Arus Gangguan Hubung Singkat.....	34
4.3.1	Analisis Hubung Singkat Minimum	34
4.3.2	Analisis Hubung Singkat Maksimum	34
4.4	Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa.....	35
4.4.1	Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 1	36
4.4.2	Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 2	42
4.4.3	Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 3	50

4.4.4	Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 4	58
4.4.5	Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 5	68
4.5	Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan ke Tanah	74
4.5.1	Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan ke Tanah Tipikal 1	74
4.5.2	Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan ke Tanah Tipikal 4	79
4.6	Analisis Kestabilan Transien	84
4.7	Studi Kasus Kestabilan Transien	84
4.8	Hasil Simulasi Kestabilan Transien dan Mekanisme <i>Load Shedding</i>	85
4.8.1	Studi Kasus <i>Short Circuit</i> Bus KDM-1 (11kV)	86
4.8.2	Studi Kasus Generator MPG 070-X01 Lepas	88
4.8.3	Studi Kasus Generator KDM 1 Lepas	93
4.8.4	Studi Kasus Motor 065-G01BM <i>Start</i>	100
4.8.5	Studi Kasus KDM 1 Lepas dan Kerja Rele <i>Reverse Power</i>	102
4.8.6	Studi Kasus KDM 1 Lepas dan Kerja Rele <i>UnderVoltage</i>	105
4.8.7	Studi Kasus KDM 1 Lepas dan Kerja Rele <i>Under</i> frekuensi	108
4.9	Rekapitulasi Data	111
4.9.1	Beban <i>Load Shedding</i>	111
4.9.2	Rekapitulasi Kondisi Frekuensi dan Tegangan ketika Generator <i>Outage</i>	112

BAB 5 PENUTUP

5.1	Kesimpulan	113
5.2	Saran	113

DAFTAR PUSTAKA	115
RIWAYAT PENULIS	117

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

	HALAMAN
Gambar 2. 1 Rangkaian arus hubung singkat tiga fasa.....	6
Gambar 2. 2 Rangkaian arus hubung singkat dua fasa.....	7
Gambar 2. 3 Rangkaian arus hubung singkat satu fasa ke tanah	8
Gambar 2. 4 Karakteristik <i>very inverse</i> , <i>extremely inverse</i> , dan <i>standard inverse</i>	10
Gambar 2. 5 Karakteristik rele arus lebih waktu tertentu	10
Gambar 2. 6 Rele arus waktu instan.....	11
Gambar 2. 7 Kurva IDMT dengan rele arus lebih waktu instan	11
Gambar 2. 8 Standar Frekuensi (IEEE Std C37.106-2003).....	20
Gambar 3. 1 Single line diagram PT. Kaltim Methanol Industri	26
Gambar 4. 1 Tipikal koordinasi proteksi PT. Kaltim Methanol Industri	33
Gambar 4. 2 <i>Single line diagram</i> tipikal 1	36
Gambar 4. 3 Koordinasi proteksi tipikal 1	42
Gambar 4. 4 <i>Single line diagram</i> tipikal 2	43
Gambar 4. 5 Kurva eksisting fasa tipikal 2.....	44
Gambar 4. 6 Kurva <i>resetting</i> fasa tipikal 2	49
Gambar 4. 7 <i>Single line diagram</i> tipikal 3	50
Gambar 4. 8 Kurva eksisting fasa tipikal 3	51
Gambar 4. 9 Kurva <i>resetting</i> fasa tipikal 3	57
Gambar 4. 10 <i>Single line diagram</i> tipikal 4	58
Gambar 4. 11 Kurva eksisting fasa tipikal 4.....	59
Gambar 4. 12 Kurva <i>resetting</i> fasa tipikal 4	67
Gambar 4. 13 <i>Single line diagram</i> tipikal 5	68
Gambar 4. 14 Kurva eksisting fasa tipikal 5.....	69
Gambar 4. 15 Kurva <i>resetting</i> fasa tipikal 5	73
Gambar 4. 16 <i>Single line diagram</i> tipikal 1 gangguan fasa ke tanah ...	75
Gambar 4. 17 Kurva gangguan satu fasa ke tanah tipikal 1.....	78
Gambar 4. 18 <i>Single line diagram</i> tipikal 4 gangguan fasa ke tanah ...	79
Gambar 4. 19 Kurva eksisting gangguan fasa ke tanah tipikal 4	80
Gambar 4. 20 Kurva <i>resetting</i> gangguan fasa ke tanah tipikal 4	83
Gambar 4. 21 Respon frekuensi ketika <i>short circuit</i> di bus KDM-1 ...	86
Gambar 4. 22 Respon tegangan ketika <i>short circuit</i> di bus KDM-1	87
Gambar 4. 23 Respon sudut rotor ketika <i>short circuit</i> di bus KDM-1 .	87
Gambar 4. 24 Respon frekuensi ketika MPG 070-X01 lepas	89
Gambar 4. 25 Respon tegangan ketika MPG 070-X01 lepas	89
Gambar 4. 26 Respon sudut rotor ketika MPG 070-X01 lepas	90

Gambar 4. 27	Respon frekuensi ketika MPG 070-X01 lepas dan mekanisme <i>load shedding status</i>	91
Gambar 4. 28	Respon tegangan ketika MPG 070-X01 lepas dan mekanisme <i>load shedding status</i>	92
Gambar 4. 29	Respon sudut rotor ketika M PG 070-X01 lepas dan mekanisme <i>load shedding status</i>	92
Gambar 4. 30	Respon frekuensi ketika KDM 1 lepas	94
Gambar 4. 31	Respon tegangan ketika KDM 1 lepas	94
Gambar 4. 32	Respon sudut rotor ketika KDM 1 lepas	95
Gambar 4. 33	Respon frekuensi KDM 1 lepas dan <i>load shedding</i> tahap 1 ...	96
Gambar 4. 34	Respon tegangan KDM 1 lepas dan <i>load shedding</i> tahap 1	96
Gambar 4. 35	Respon sudut rotor KDM 1 lepas dan <i>load shedding</i> tahap 1 ..	97
Gambar 4. 36	Respon frekuensi KDM 1 lepas dan <i>load shedding</i> tahap 2 ...	98
Gambar 4. 37	Respon tegangan KDM 1 lepas dan <i>load shedding</i> tahap 2	98
Gambar 4. 38	Respon sudut rotor KDM 1 lepas dan <i>load shedding</i> tahap 2 ..	99
Gambar 4. 39	Respon frekuensi ketika motor 065-G01BM <i>start</i>	100
Gambar 4. 40	Respon tegangan ketika motor 065-G01BM <i>start</i>	101
Gambar 4. 41	Respon sudut rotor ketika motor 065-G01BM <i>start</i>	101
Gambar 4. 42	Respon daya aktif yang mengalir dari KMI ke KDM ..	102
Gambar 4. 43	Respon daya reaktif yang mengalir dari KMI ke KDM	103
Gambar 4. 44	Respon frekuensi ketika rele <i>reverse power</i> bekerja ...	104
Gambar 4. 45	Respon tegangan ketika rele <i>reverse power</i> bekerja	104
Gambar 4. 46	Respon sudut rotor ketika rele <i>reverse power</i> bekerja ..	105
Gambar 4. 47	Respon tegangan ketika KDM 1 lepas	106
Gambar 4. 48	Respon frekuensi ketika rele <i>undervoltage</i> bekerja	106
Gambar 4. 49	Respon tegangan ketika rele <i>undervoltage</i> bekerja	107
Gambar 4. 50	Respon sudut rotor ketika rele <i>undervoltage</i> bekerja ..	107
Gambar 4. 51	Respon frekuensi ketika KDM 1 lepas	108
Gambar 4. 52	Respon frekuensi ketika Rele <i>under</i> frekuensi bekerja ..	109
Gambar 4. 53	Respon tegangan ketika Rele <i>under</i> frekuensi bekerja ..	109
Gambar 4. 54	Respon sudut rotor ketika Rele <i>under</i> frekuensi bekerja	110

DAFTAR TABEL

	HALAMAN
Tabel 2. 1 Koefisien <i>inverse time dial</i>	13
Tabel 2. 2 Standar batas tegangan (durasi pendek)	21
Tabel 2. 3 Standar batas tegangan (durasi panjang)	21
Tabel 2. 4 Skema pelepasan beban tiga langkah.....	23
Tabel 2. 5 Skema pelepasan beban enam langkah	23
Tabel 3. 1 Jumlah total pembangkitan, pembebanan, dan <i>demand</i>	25
Tabel 3. 2 Data kapasitas pembangkit PT. Kaltim Methanol Industri ..	27
Tabel 3. 3 Data spesifikasi generator	27
Tabel 3. 4 Data spesifikasi generator (lanjutan)	28
Tabel 3. 5 Data <i>bus</i>	29
Tabel 3. 6 Data Transformator.....	29
Tabel 3. 7 Data beberapa motor di PT. Kaltim Methanol Industri	30
Tabel 4. 1 Data arus hubung singkat minimum	34
Tabel 4. 2 Data arus hubung singkat maksimum	35
Tabel 4. 3 Tegangan dan Pentanahan Peralatan.....	74
Tabel 4. 4 Studi kasus kestabilan transien	85
Tabel 4. 5 Rekapitulasi kuantitas beban <i>load shedding</i> kasus MPG <i>off</i>	111
Tabel 4. 6 Rekapitulasi kuantitas beban <i>load shedding</i> kasus KDM1 <i>off</i>	111
Tabel 4. 7 Rekapitulasi frekuensi dan tegangan ketika <i>motor starting</i>	111
Tabel 4. 8 Rekapitulasi Frekuensi dan Tegangan Ketika Hubung Singkat...	111
Tabel 4. 9 Rekapitulasi frekuensi dan tegangan ketika generator <i>outage</i>	112

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Pasokan aliran daya listrik dibutuhkan pada suatu industri untuk menunjang produksi. Sehingga kontinuitas aliran daya pada sistem tenaga listrik sangat diperlukan agar suplai daya ke beban tidak terganggu, pada saat kondisi normal maupun saat terjadi gangguan. Apabila suatu pabrik kekurangan pasokan daya listrik maka pabrik tersebut akan berhenti beroperasi dan mengakibatkan kerugian yang cukup besar. Sehingga dalam mengamankan sistem kelistrikan saat terjadi gangguan diperlukan peralatan pengaman sistem tenaga listrik untuk menjaga kontinuitas aliran daya dan kestabilan suatu sistem tenaga listrik, diperlukanlah pengaman rele dengan kemampuan yang selektif dan akurat untuk mencapai keandalan sistem. Karena dengan kemampuan rele yang cepat dan tepat dapat mengisolir gangguan seminimal mungkin dan peralatan listrik dapat terlindungi. Peralatan proteksi yang digunakan pada sistem kelistrikan juga harus memiliki tingkat keandalan yang tinggi agar setiap terjadi gangguan pada sistem maka peralatan proteksi yang terpasang dapat bekerja mengamankan gangguan tersebut.

PT. Kaltim Methanol Industri (KMI) dalam operasionalnya di suplai oleh satu *main power* generator (MPG) dengan kapasitas 1x7 MW dan 2x1.5 MW *emergency* generator (EPG). Apabila dalam kondisi *shutdown plant* (sumber hanya dari PT. Kaltim Daya Mandiri), diharapkan tidak ada aliran daya dari PT. KMI ke PT. KDM maka perlu dilakukan analisis kestabilan transien dan koordinasi proteksi pada sistem kelistrikanya. Analisis kestabilan transien ini meliputi kestabilan frekuensi, sudut rotor, dan tegangan saat terjadi hubung singkat dan generator lepas serta mengevaluasi koordinasi proteksi yang sudah ada pada sistem kelistrikan yang terdapat pada PT. Kaltim Methanol Industri (KMI) karena telah di integrasikan dengan PT. Kaltim Daya Mandiri (KDM), karena terdapat perubahan nilai arus hubung singkat dalam sistem yang nantinya akan mengakibatkan pada perubahan sistem proteksi yang sebelumnya sudah ada, untuk itu perlu diadakan studi koordinasi proteksi ulang pada sistem kelistrikan PT. KMI. Maka diharapkan setelah dilakukan analisis kestabilan transien dan koordinasi proteksi pada PT. Kaltim Methanol Industri (KMI) yang terintegrasi dengan PT. Kaltim Daya Mandiri (KDM) dapat menangani gangguan seminimal mungkin sehingga dapat melindungi peralatan – peralatan listrik yang ada.

1.2 Permasalahan

Permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah :

1. Melakukan studi mengenai sistem proteksi pada PT. Kaltim Methanol Industri akibat integrasi dengan sistem 11 kv PT. Kaltim Daya mandiri
2. Menganalisis kestabilan transien dengan mempertimbangkan aliran daya, tegangan, dan frekuensi pada PT. Kaltim Methanol Industri.
3. Mengoordinasikan rele arus lebih dan rele *ground fault* dengan menggunakan nilai *setting* yang didapatkan dari hasil perhitungan dan simulasi dengan menggunakan *software* ETAP.

1.3 Tujuan

Tugas akhir ini memiliki beberapa tujuan sebagai berikut :

1. Memodelkan, menyimulasikan dan menganalisis sistem kelistrikan PT. Kaltim Methanol Industri akibat integrasi dengan sistem 11 kv PT. Kaltim Daya Mandiri.
2. Menganalisis kestabilan transien pada PT. Kaltim Methanol Industri sehingga mampu mengatasi gangguan yang mungkin terjadi di PT. KMI.
3. Mendapatkan *setting* koordinasi rele arus lebih, rele *ground fault*, rele *under frequency*, rele *undervoltage*, dan rele *power reverse* pada PT. Kaltim Methanol Industri.

1.4 Metodologi

Metode Penelitian yang digunakan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Studi Literatur
Mengumpulkan buku serta referensi yang berhubungan dengan kestabilan transien dan koordinasi proteksi.
2. Pengumpulan Data
Mengumpulkan data – data mengenai sistem kelistrikan PT. Kaltim Methanol Industri yang terintegrasi dengan PT. Kaltim Daya Mandiri, seperti *single line diagram*, spesifikasi peralatan – peralatan, dan pola operasinya.
3. Pemodelan dan Simulasi
Memodelkan sistem kelistrikan PT. Kaltim Methanol Industri yang terintegrasi dengan PT. Kaltim Daya Mandiri dan menyimulasikan dengan menggunakan *software* ETAP.

Pemodelan sistem dilakukan agar dapat menganalisis aliran daya, hubung singkat, koordinasi proteksi, dan kestabilan transien.

4. Analisis Simulasi

Akan didapatkan suatu hasil dari simulasi yang dilakukan dimana parameter hasil simulasi tersebut selanjutnya digunakan untuk analisis respon dari kestabilan transien yang terjadi dan melakukan *setting* koordinasi rele arus lebih, rele pengamanan gangguan ke tanah, rele *under frequency*, rele *under voltage*, dan rele *reverse power*.

5. Kesimpulan

Memberikan kesimpulan dan rekomendasi tentang *setting* koordinasi rele proteksi pada PT. Kaltim Methanol Industri serta memberikan saran untuk mengatasi gangguan-gangguan yang terjadi.

1.5 Sistematika Penulisan

Pada tugas akhir ini pembahasan akan dibagi menjadi 5 bab dengan sistematika sebagai berikut :

Bab 1 : Pendahuluan

Bab ini berisi latar belakang pembuatan tugas akhir, permasalahan yang akan diangkat, tujuan serta manfaat tugas akhir, metodologi penulisan dan sistematika penulisan tugas akhir.

Bab 2 : Teori Penunjang

Secara umum menjelaskan tentang koordinasi pengamanan sistem kelistrikan dan kestabilan transien.

Bab 3 : Sistem Kelistrikan PT. Kaltim Methanol Industri (KMI)

Bab ini berisi tentang sistem kelistrikan pada PT. Kaltim Methanol Industri mengenai operasi sistem tenaga listrik di PT. Kaltim Methanol Industri.

Bab 4 : Simulasi dan Analisis

Dalam bab ini akan dibahas mengenai perhitungan – perhitungan dan hasil simulasi yang telah dilakukan di ETAP sehingga dapat menyajikan analisis terhadap koordinasi setelan rele yang baru dan rekomendasi untuk setelan rele baru sehingga menghasilkan koordinasi yang lebih baik serta membahas hasil simulasi stabilitas transien pada generator dan bus. Hal yang perlu diperhatikan yaitu kestabilan frekuensi, sudut rotor, dan tegangan sebelum, saat, dan setelah terjadi gangguan.

Bab 5 : Penutup

Bab ini memberikan kesimpulan dan rekomendasi dari hasil studi literature, simulasi, dan analisis yang telah dilakukan.

1.6 Manfaat

Tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaatm yaitu menjadi referensi dan rekomendasi bagi PT. Kaltim Methanol Industri, khususnya berkaitan dengan koordinasi sistem pengaman rele dan kestabilan transien dan dapat dijadikan referensi pada penelitian selanjutnya tentang stabilitas transien dan koordinasi sistem pengaman rele pada sistem kelistrikan industri.

BAB 2

KOORDINASI PROTEKSI DAN KESTABILAN TRANSIEN SISTEM TENAGA LISTRIK

Kegagalan sistem pengamanan pada suatu perusahaan dapat mengakibatkan suplai daya ke beban menjadi terganggu dan dapat merusak peralatan, sehingga dapat menimbulkan kerugian yang begitu besar. Permasalahan yang sering timbul pada sistem kelistrikan disebuah industri antara lain adalah *overload*, *short circuit*, dan kesalahan *grounding*. Sistem proteksi yang dipasang harus dengan cepat memutuskan arus gangguan dan selektif ketika terjadi gangguan. Maka koordinasi proteksi harus disetting dengan tepat agar dapat menjaga kontinuitas pasokan daya ke beban tetap terjaga.

2.1 Penyebab Terjadinya Gangguan Arus Lebih

Ada beberapa hal yang menyebabkan gangguan pada sistem kelistrikan yaitu gangguan beban lebih (*overload*) dan gangguan hubung singkat (*short circuit*).

2.1.1 Beban Lebih (*Overload*)

Beban lebih ini terjadi karena arus yang mengalir melebihi arus yang telah ditentukan atau arus nominal ($I > I_n$). Apabila ada peralatan listrik yang dialiri melebihi kapasitas arus yang telah ditentukan secara terus menerus dapat merusak peralatan tersebut.

2.1.2 Hubung Singkat (*Short Circuit*)

Gangguan hubung singkat ini dibedakan menjadi dua kelompok yaitu gangguan hubung singkat simetri dan gangguan hubung singkat tidak simetri. Gangguan yang termasuk dalam kelompok gangguan singkat simetri yaitu gangguan hubung singkat tiga fasa. Mengakibatkan kenaikan arus yang sangat tinggi pada suatu tempat dan menyebabkan tegangan sangat *drop* mendekati nol untuk ketiga fasanya. Kelompok gangguan hubung singkat tidak simetri yaitu selain gangguan hubung singkat tiga fasa. Gangguan ini dapat menyebabkan arus lebih pada fasa yang terganggu dan dapat mengakibatkan kenaikan tegangan pada fasa yang tidak terganggu. Sebagian besar gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik adalah gangguan tidak simetri. Gangguan tak simetri ini terjadi sebagai akibat gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah, gangguan hubung singkat dua fasa, atau gangguan hubung singkat dua

fasa ke tanah. Bila gangguan ini dibiarkan maka dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan listrik dan menyebabkan kebakaran.

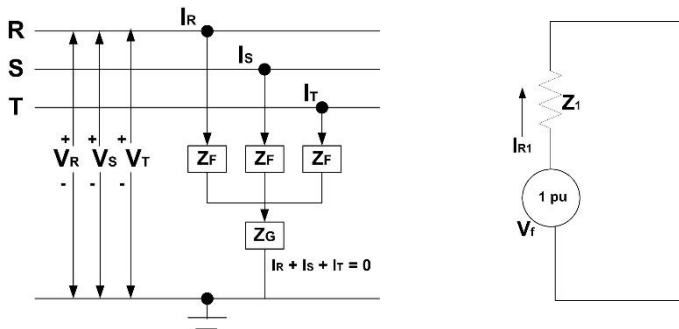
2.2 Perhitungan Arus Hubung Singkat

Arus gangguan maksimum terjadi ketika generator terbesar beroperasi dan pengoperasiannya saat generator dibebani dengan beban puncak. Arus gangguan ini dapat dicari melalui rangkaian impedansi thevenin [1].

Ada beberapa jenis gangguan arus hubung singkat antara lain yaitu arus hubung singkat tiga fasa, dua fasa, dan satu fasa ketanah. Nilai arus hubung singkat dapat dihitung dengan cara sebagai berikut :

➤ Hubung Singkat Tiga Fasa

Perhitungan hubung singkat tiga fasa ini melibatkan ketiga fasa.



Gambar 2. 1 Rangkaian arus hubung singkat tiga fasa

Besarnya arus hubung singkat tiga fasa dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

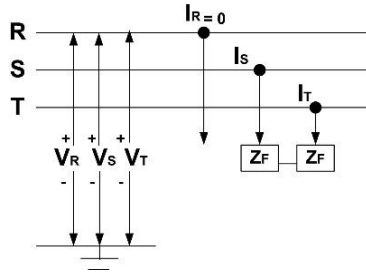
$$I_{R1} = \frac{V_f}{Z_1} \quad (2.1)$$

$$I_{sc3} = \frac{V_f}{Z_1} \quad (2.2)$$

Nilai arus hubung singkat tiga fasa ini merupakan arus hubung singkat terbesar atau maksimum dari pada arus hubung singkat yang lain.

➤ **Hubung Singkat Dua Fasa**

Hubung singkat ini terjadi antara dua fasa tanpa terhubung ketanah.



Gambar 2. 2 Rangkaian arus hubung singkat dua fasa

Besarnya arus hubung singkat dua fasa dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$I_R = 0 \quad (2.3)$$

$$I_S = -I_T = \sqrt{3} I_{R1} \quad (2.4)$$

$$I_{sc2} = \frac{\sqrt{3}V_f}{Z_1 + Z_2} \quad (2.5)$$

Bila nilai $Z_2 = Z_1$ maka persamaanya menjadi, sebagai berikut:

$$I_{sc2} = \frac{\sqrt{3}V_f}{Z_1 + Z_1} \quad (2.6)$$

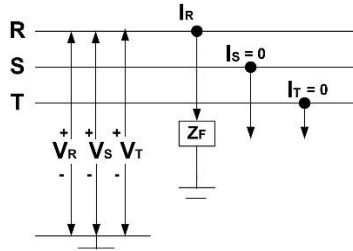
$$I_{sc2} = \frac{\sqrt{3}V_f}{2Z_1} \quad (2.7)$$

$$I_{sc2} = 0.867 \times I_{sc3} \quad (2.8)$$

Sehingga arus hubung singkat dua fasa merupakan arus hubung singkat minimum.

➤ **Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah**

Hubung singkat ini melibatkan impedansi urutan nol dan besarnya arus hubung singkat ini tergantung sistem pentanahan yang digunakan.



Gambar 2. 3 Rangkaian arus hubung singkat satu fasa ke tanah

Arus hubung singkat satu fasa dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$I_R = 3I_{R1}$$

$$I_{sc1\phi} = \frac{3 V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3 Z_g} \quad (2.9)$$

Bila nilai $Z_2 = Z_0 = Z_1$ dan nilai $Z_g = 0$ maka persamaanya menjadi, sebagai berikut:

$$I_{sc1\phi} = \frac{3 V_f}{3 Z_1} = I_{sc3} \quad (2.10)$$

2.3 Trafo Arus

Trafo arus atau *Current Transformer* (CT) merupakan peralatan yang berfungsi mentransformasikan besaran arus listrik agar dapat diaplikasikan untuk keperluan pengukuran ataupun sistem pengaman untuk proteksi. CT digunakan jika arus yang mengalir melalui jaringan terlalu besar sehingga tidak sesuai dengan *rating* peralatan pengukuran maupun proteksi.

2.4 Rele Arus Lebih

Jenis rele yang sering digunakan untuk pengaman sistem kelistrikan adalah rele arus lebih. Rele arus lebih digunakan untuk mengamankan gangguan beban lebih (*overload*) dan gangguan hubung singkat (*short circuit*) [5].

Analisis untuk setting dan koordinasi peralatan pengaman memperhatikan beberapa hal berikut ini :

- CB tidak boleh membuka ketika terjadi starting motor dan ketika *energize* transformator. Kurva rele pengaman harus dapat

membedakan gangguan yang terjadi tidak boleh ketika terdapat gangguan disisi sekunder tetapi yang bekerja disisi primer. Ini merupakan fungsi selektivitas yang harus diperhatikan dalam *setting* dan koordinasi perlatan pengaman.

- b) Peralatan pengaman sistem tenaga listrik harus dapat merasakan dan mengamankan gangguan yang paling minimum pada titik gangguan yang terdekat. Ini merupakan fungsi sensitivitas yang harus dimiliki perlatan pengaman.
- c) Setelah mempertimbangkan kerja peralatan pengaman dalam menjalankan fungsi selektivitas dan sensitivitas maka peralatan pengaman (rele) harus dikoordinasikan menurut segi penyetelan waktu dan arus. Ini merupakan pengaman peralatan sebagai fungsi koordinasi.

Koordinasi waktu untuk satu langkah antara sisi atas dengan bawah berdasarkan IEEE 242 untuk perbedaan waktu minimum adalah antara 0,3 s/d 0,4 detik, sedang untuk rele digital berbasis mikroprosesor antara 0,2 s/d 0,3 detik.

Mengatasi gangguan arus lebih kita menggunakan rele arus lebih atau *over current relay* (OCR). Rele dapat bekerja apabila memenuhi keadaan sebagai berikut :

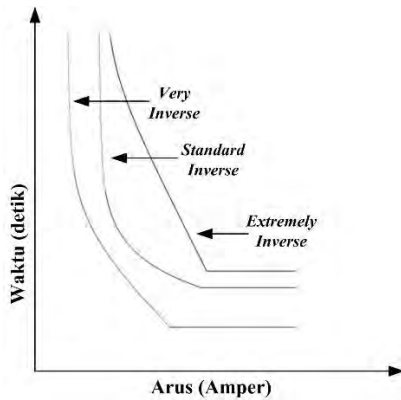
$$\begin{array}{ll} I_f > I_p & \text{rele bekerja} \\ I_f < I_p & \text{rele tidak bekerja} \end{array}$$

I_p merupakan arus kerja yang dinyatakan menurut sekunder dari trafo arus (CT) dan I_f merupakan arus gangguan yang juga dinyatakan terhadap sekunder trafo arus (CT). Rele arus lebih dapat berupa rele arus lebih waktu *invers*, rele waktu tertentu dan rele waktu instan [3].

2.4.1 Rele Arus Lebih Waktu *Inverse*

Rele arus lebih memiliki waktu operasi yang berbanding terbalik dengan besarnya arus gangguan. Sehingga semakin besar arus gangguan maka rele dapat beroperasi dalam waktu yang cepat dan apabila ada arus gangguan yang muncul semakin kecil maka waktu yang beroperasi semakin lama [4]. Karakteristik kerja rele arus lebih waktu invers digambarkan dalam kurva arus-waktu atau *time current curve* (TCC). Kurva TCC rele arus lebih waktu invers dilihat dari *time dial*, apabila semakin besar *time dial* semakin lama waktu operasi dari rele tersebut.

Menurut standart IEEE std 242-2001 rele arus lebih waktu *invers* yaitu *very inverse*, *extremely inverse*, dan *standard inverse* [2].

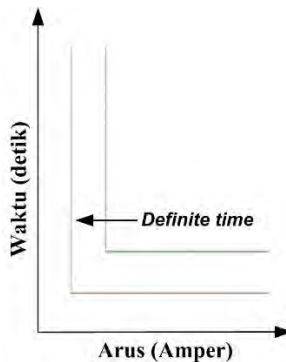


Gambar 2. 4 Karakteristik *very inverse*, *extremely inverse*, dan *standard inverse*.

Pada Gambar 2.4 merupakan contoh kurva waktu *invers* untuk melindungi peralatan listrik dari beban berlebih (*overload*).

2.4.2 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu

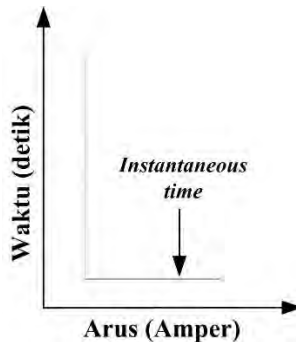
Rele arus lebih waktu tertentu dapat diatur waktu operasi yang bervariasi berdasarkan *level* arus yang berbeda. Maka kita dapat menggunakan rele arus lebih ini gangguan yang paling dekat dapat diputus dengan cepat sesuai dengan *time delay* yang disetting. Semua *level* arus yang melebihi *pickup setpoint* akan diputuskan dalam waktu yang sama (*definite*). Gambar 2.5 menunjukkan karakteristik dari rele arus lebih waktu tertentu.



Gambar 2. 5 Karakteristik rele arus lebih waktu tertentu

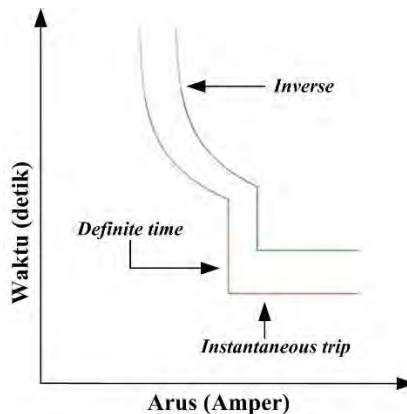
2.4.3 Rele Arus Lebih Waktu Instan

Rele arus lebih waktu instan bekerja tanpa ada penundaan waktu, tapi masih bekerja dengan waktu cepat. Bekerja rele ini didasarkan besarnya arus gangguan hubung singkat yang dipilih dan membukanya CB dalam waktu yang sangat cepat yaitu 80 ms atau 0,08 s.



Gambar 2. 6 Rele arus waktu instan

Rele arus lebih waktu *inverse* dan waktu tertentu dapat dijadikan satu penggunaannya yaitu *inverse definite minimum time* (IDMT) serta dikombinasikan dengan rele arus lebih waktu instan. Gambar 2.7 menunjukkan penggunaan IDMT yang dikombinasikan dengan rele arus lebih waktu instan.



Gambar 2. 7 Kurva IDMT dengan rele arus lebih waktu instan

2.5 Setting Rele Arus Lebih

Hal yang perlu diperhatikan dalam *setting* rele arus lebih adalah studi aliran daya dimana studi aliran daya merupakan hal perlu diperhatikan karena dari analisis dan desain sistem tenaga dengan digunakan untuk pengoperasian, penjadwalan secara ekonomis, dan perpindahan daya antar peralatan [6].

Selain studi aliran daya parameter yang diperhatikan untuk melakukan *setting* rele arus lebih yaitu melakukan simulasi hubung singkat pada titik atau bus tertentu untuk menentukan nilai arus hubung singkat minimum dan maksimum. Setelah melakukan itu dapat dilakukan *setting* rele arus lebih untuk melindungi peralatan listrik [7].

2.5.1 Setting Rele Arus lebih waktu *Inverse*

Kita dapat menyetting rele arus lebih waktu *inverse* menjadi dua bagian yaitu setelan *pickup* dan setelan *time dial*. Untuk setelan *pickup* pada rele arus lebih waktu *inverse* adalah rele tidak bekerja pada saat beban maksimum, oleh karena itu *setting* arusnya harus lebih besar dari pada beban maksimum. Besarnya arus *pickup* ini ditentukan dengan pemilihan *tap*. Nilai *tap* ini dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$Tap = \frac{I_{pickup}}{CT \text{ Primary}} \quad (2.11)$$

Menurut standar british BS 142 batas *setting* rele untuk kurva *inverse* adalah $1,05 I_{fl} < I_{set} < 1,3 I_{fl}$. I_{fl} merupakan arus beban maksimum peralatan ketika beroperasi.

Menentukan setelan *time dial* waktu operasi rele untuk rele GE Multilin model 489 menurut standar ANSI C37.90, dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$t = \left(A + \left(\frac{B}{\left(\left(I_{pickup} \right)^{-C} \right)} + \left(\frac{D}{\left(\left(I_{pickup} \right)^{-C} \right)^2} + \left(\frac{E}{\left(\left(I_{pickup} \right)^{-C} \right)^3} \right) \right) \right) \right) * TD \quad (2.12)$$

dimana :

t = waktu operasi (detik)

TD = time dial

I = nilai arus (Ampere)

I_{pickup} = arus yang disetting pada rele (Ampere)

A, B, C, D, E = koefisien (lihat Tabel 2.1)

Tabel 2. 1 Koefisien *inverse time dial*.

Tipe Kurva (ANSI)	Koefisien				
	A	B	C	D	E
<i>Extremely Inverse</i>	0,0399	0,2294	0,5000	3,0094	0,7222
<i>Very Inverse</i>	0,0615	0,7989	0,3400	-0,2840	4,0505
<i>Normally Inverse</i>	0,0274	2,2614	0,3000	-4,2899	9,1272
<i>Moderately Inverse</i>	0,1735	0,6791	0,8000	-0,0800	0,1271

Persamaan time dial untuk GE multilin dan Tabel 2.1 merupakan standar untuk menentukan kurva *inverse* pengaman peralatan listrik [8], yang nantinya dapat disimulasikan pada ETAP.

Jika menggunakan rele merlin gerlin sepam 1000, untuk mencari persamaan *time dial* dapat digunakan persamaan sebagai berikut [9]:

- Standar *inverse time*

$$t = \left(\frac{0,14}{(I/I_s)^{0,02} - 1} \right) \frac{TD}{2,97} \quad (2.13)$$

- *Very inverse time*

$$t = \left(\frac{13,5}{(I/I_s) - 1} \right) \frac{TD}{1,5} \quad (2.14)$$

- *Extremely inverse time*

$$t = \left(\frac{80}{(I/I_s)^2 - 1} \right) \frac{TD}{0,808} \quad (2.15)$$

dimana :

t = waktu operasi (detik)

TD = time dial

I = nilai arus (Ampere)

I_s = arus yang disetting pada rele (Ampere)

Jika menggunakan rele siemens model 7SJ512, untuk mencari persamaan *time dial* dapat digunakan persamaan sebagai berikut [10]:

- Normal *inverse*

$$t = \left(\frac{0,14}{\left(I/I_p \right)^{0,02} - 1} \right) * TD \quad (2.16)$$

- Very *inverse*

$$t = \left(\frac{13,5}{\left(I/I_p \right) - 1} \right) * TD \quad (2.17)$$

- Extremely *inverse*

$$t = \left(\frac{80}{\left(I/I_p \right)^2 - 1} \right) * TD \quad (2.18)$$

dimana :

t	= waktu operasi (detik)
TD	= time dial
I	= nilai arus (Ampere)
I _p	= arus yang disetting pada rele (Ampere)

2.5.2 Setting Rele Arus Lebih Waktu Tertentu

Rele arus lebih waktu tertentu dapat bekerja seketika ketika ada arus yang mengalir melebihi batas yang diijinkan. Dalam menentukan setelan *pickup* ini digunakan I_{sc min} yaitu arus hubung singkat dua fasa. Sehingga *setting* rele dapat ditentukan :

$$1,6 I_n < I_{set} < 0,8 \times I_{sc \min} \quad (2.19)$$

2.6 Koordinasi Berdasarkan Arus dan Waktu

Koordinasi ini digunakan untuk menentukan *time delay* pada rele pengaman sistem kelistrikan. Antara rele pengaman utama dan rele pengaman *backup* tidak boleh bekerja secara bersamaan. Untuk itu diperlukan adanya *time delay* antara rele utama dan rele *backup*. Perbedaan waktu kerja minimal antara rele utama dan rele *backup* adalah 0,3 – 0,4 detik. Dengan spesifikasi sebagai berikut menurut standard IEEE 242 :

Waktu buka CB	: 0,04 – 0,1 s (2-5 cycle)
<i>Overtravel</i> dari rele	: 0,1 s

Faktor keamanan : 0,12-0,22 s

Apabila menggunakan rele berbasis microprocessor maka overtravel dari rele diabaikan sehingga waktu yang diperlukan adalah 0,2 – 0,3 detik.

2.7 Setting Rele Gangguan ke Tanah

Rele gangguan tanah bekerja untuk mengamankan gangguan dua fasa dan satu fasa ke tanah. Rele gangguan tanah digunakan pada pada sistem yang membatasi arus gangguan tanah. Misalnya sistem pentanahan netral dengan pentanahan resistansi dimana impedansi yang rendah mampu mengurangi arus gangguan ke tanah.

Pertimbangan pada setting koordinasi Rele arus lebih gangguan ke tanah adalah:

- Arus urutan nol akan mengalir dari sumber gangguan trafo belitan Wye.
- Arus urutan nol akan terisolasi pada trafo belitan delta.

Setting rele gangguan ke tanah adalah :

$$5 - 10\% \times I_{sc\ L-G} \leq I_{set} \leq 50\% I_{sc\ L-G} \quad (2.20)$$

Dengan $I_{sc\ L-G}$ merupakan arus hubung singkat satu fasa ke tanah.

2.8 Kestabilan Sistem

Kestabilan sistem tenaga listrik merupakan kemampuan sistem tenaga untuk tetap kembali beroperasi normal saat dan setelah terjadi gangguan pada sistem tenaga listrik. Sistem tenaga listrik memiliki beban yang dinamis dimana setiap detik dapat berubah, sehingga aliran daya listrik harus tetap sesuai dengan kebutuhan beban yang di *supply*. Dalam keadaan seimbang, daya mekanik dan daya elektrik bergerak secara bersamaan dengan kecepatan konstan. Apabila terjadi penurunan atau kenaikan beban yang tidak terduga maka dapat mengakibatkan sistem menjadi tidak seimbang, hal ini dapat mengakibatkan perbedaan daya elektrik dan mekanik dari generator. Kelebihan daya elektrik membuat perlambatan putaran rotor generator, hal ini disebabkan semakin terbebaninya generator. Namun kelebihan daya mekanik membuat percepatan putaran rotor, hal ini disebabkan semakin ringan beban yang ditanggung generator. Bila gangguan tidak segera dihilangkan, maka perlambatan atau percepatan putaran rotor generator mengakibatkan hilangnya sinkronisasi dalam suatu sistem, oleh karena itu perlu dilakukan analisis kestabilan transien agar pembangkit yang terganggu tidak lepas dari sistem.

Setelah terjadi gangguan untuk mengembalikan sistem pada kondisi operasi sinkron disebut dengan periode transien. Kriteria utama stabilitas adalah bagaimana mesin-mesin mempertahankan sinkronisasi pada akhir periode transien. Jika respon osilasi sistem tenaga selama periode transien yang mengikuti gangguan teredam menuju kondisi operasi mantap, maka sistem dalam kategori stabil, jika tidak berarti sistem tidak stabil [11]. Osilasi sistem mampu teredam berarti sistem itu mempunyai kekuatan dalam mengurangi osilasi dan hal ini yang sangat diperlukan bagi sistem tenaga. Terdapat dua gangguan yang mempengaruhi sistem kestabilan pada sistem tenaga listrik yaitu gangguan besar dan gangguan kecil. Gangguan besar yaitu lepasnya generator dan terjadinya hubung singkat. Sedangkan gangguan kecil berupa perubahan beban yang berlangsung terus menerus.

2.9 Klasifikasi Kestabilan

Berdasarkan paper IEEE *Transactions On Power Systems* dengan judul *Definition and Classification of Power System Stability*, kestabilan sistem tenaga listrik dikategorikan menjadi tiga, yaitu [12]:

1. Kestabilan frekuensi
2. Kestabilan tegangan
3. Kestabilan sudut rotor

2.9.1 Kestabilan Frekuensi

Kestabilan frekuensi mengacu pada kemampuan sistem tenaga untuk mempertahankan frekuensi agar tetap stabil ketika terjadi gangguan sistem yang besar akibat ketidakseimbangan antara aliran daya sistem dan beban. Titik keseimbangan antara aliran daya sistem dan beban harus dipertahankan untuk menjaga sistem dari hilangnya sinkronisasi. Klasifikasi kestabilan frekuensi dibagi menjadi 2 yaitu jangka panjang dan jangka pendek.

Kestabilan frekuensi jangka panjang disebabkan oleh kontrol *governor* tidak bekerja ketika terdapat gangguan, contoh kestabilan frekuensi jangka panjang yaitu ketidakstabilan frekuensi yang disebabkan oleh kontrol *overspeed steam turbine* atau *governor*. Rentang waktu kestabilan frekuensi jangka panjang yaitu puluhan detik hingga beberapa menit.

Kestabilan frekuensi jangka pendek adalah terjadinya perubahan beban yang besar sehingga generator tidak mampu untuk memenuhi kebutuhan daya pada sistem. Contoh kestabilan frekuensi jangka pendek

untuk kestabilan frekuensi adalah pada pembentukan *undergenerated island* dengan pelepasan beban *underfrequency* yang tidak mencukupi, sehingga frekuensi menurun secara tiba-tiba dan menyebabkan sistem mati total dalam durasi beberapa detik.

2.9.2 Kestabilan Tegangan

Pada saat terjadi gangguan pada sistem tenaga listrik maka tegangan dapat mengalami penurunan atau kenaikan. Hal ini tergantung pada kemampuan sistem untuk mempertahankan kesetimbangan antara *supply* daya pembangkit dan kebutuhan beban. Gangguan kestabilan tegangan dibedakan menjadi dua yaitu kestabilan tegangan jangka panjang dan jangka pendek. Kestabilan jangka panjang mengakibatkan tegangan mengalami *undervoltage* (tegangan dibawah 90% dari tegangan normal) dan *overvoltage* (tegangan diatas 110% dari tegangan normal). Kestabilan jangka pendek dapat mengakibatkan *momentary interruption*, *sag*, *swell*, dll [13]. *Momentary interruption* mengakibatkan tegangan menjadi sangat rendah ($<0,1$ pu) pada satu fasa atau lebih dari satu fasa konduktor selama 0,5 *cycle* dan 3s. *swell* adalah kenaikan tegangan lebih dari 1,1 pu selama 0,5 *cycle* sampai 1 menit. *Sag* merupakan penurunan magnitude tegangan selama 0,5 *cycle* sampai 1 menit.

2.9.3 Kestabilan Sudut Rotor

Kestabilan sudut rotor mempengaruhi kestabilan sistem tenaga listrik yang memungkinkan mesin bergerak serempak dalam sistem pada operasi normal dan dapat kembali dalam keadaan seimbang setelah terjadi gangguan. Sudut rotor diklasifikasikan menjadi dua yaitu *small signal stability* dan *transient stability*. *small signal stability* adalah kestabilan sistem untuk gangguan kecil dalam bentuk osilasi elektromekanik yang tidak teredam. Sedangkan *transient stability* terjadi karena diawali dengan gangguan yang besar dan putaran torsi tidak serempak lagi. Apabila beban pada sistem tenaga listrik meningkat maka putaran rotasi rotor akan mengalami perlambatan, sebaliknya jika beban mengalami penurunan maka sudut rotor akan mengalami percepatan. Hal ini akan mengakibatkan sudut rotor mengalami sedikit *overshoot*. Pada kondisi stabil osilasi akan tetap terjadi sampai akhirnya berada pada kondisi tertentu untuk kondisi beban yang baru. Maka mesin atau generator dapat dikatakan dalam keadaan stabil dan osilasi memiliki damping yang baik.

2.10 Hal yang Mempengaruhi Kestabilan Transien

Beberapa hal yang mempengaruhi kestabilan transien untuk menjaga kestabilan sistem yaitu motor *starting*, hubung singkat, dan perubahan beban.

2.10.1 Motor Starting

Pada saat motor *starting*, motor akan menyerap arus yang sangat besar dari sistem. Motor *starting* dapat mengakibatkan terjadinya penurunan tegangan pada sistem tenaga listrik. Arus ini disebut *locked rotor current* (LRC) yang bernilai 6 sampai 10 kali arus nominal motor. Sehingga dapat mengakibatkan *drop* tegangan sistem apabila penurunan tegangan ini sampai diluar batas standar maka perlu dilakukan perbaikan pada sistem.

2.10.2 Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat adalah gangguan yang paling sering terjadi dalam sistem tenaga listrik yaitu hubung singkat pada kawat fasa maupun hubung singkat ke tanah. Sehingga dapat mengakibatkan turunya tegangan secara signifikan. Karena saat terjadi hubung singkat, akan ada arus yang mengalir menuju titik gangguan yang nilainya sangat besar. Hal ini dapat merusak peralatan karena nilai arus yang sangat besar.

2.10.3 Perubahan Beban

Perubahan beban meliputi penambahan dan pelepasan beban. Penambahan beban dapat mengakibatkan ketidak sinkronan antara daya elektrik dan daya mekanik. Jika dilakukan penambahan beban penuh secara tiba-tiba, maka arus yang dibutuhkan sangat besar sehingga mengakibatkan frekuensi dan tegangan sistem akan turun dengan cepat. Pelepasan beban juga dapat mengakibatkan kestabilan sistem menjadi terganggu. Misalkan pada saat ada generator *outage* atau hubung singkat maka dapat mengakibatkan terbukanya *circuit breaker* yang berakibat bahwa sistem kehilangan beban secara tiba-tiba. Hal ini dapat mengakibatkan terjadinya *over speed* generator. Sehingga hal ini harus segera diatasi.

2.11 Mode Operasi Governor

Governor digunakan untuk pengaturan pemberian bahan bakar, governor akan menambah kapasitas bahan bakar ketika frekuensi turun dari nominalnya dan mengurangi pasokan bahan bakar ketika frekuensi

naik dari nominalnya. Mode operasi *speed* governor dibagi menjadi dua, yaitu mode *isochronous* dan mode *droop*.

2.11.1 Mode Isochronous

Pada mode ini putaran governor ditentukan berdasarkan kebutuhan daya pada sistem saat itu (*real time*). Governor dapat menyesuaikan nilai *output* daya mekanik turbin agar sesuai dengan daya listrik yang dibutuhkan sistem melalui proses di dalam governor [14]. Ketika terjadi perubahan beban, governor akan menentukan *set point* yang baru sesuai dengan beban aktual. Pengaturan *set point* yang baru ini dapat menjaga frekuensi sistem tetap berada dalam batas yang diizinkan dan generator tidak mengalami *loss of synchronization*. Apabila generator mengalami *loss of synchronization* maka akan mengakibatkan kerusakan pada generator.

2.11.2 Mode Droop

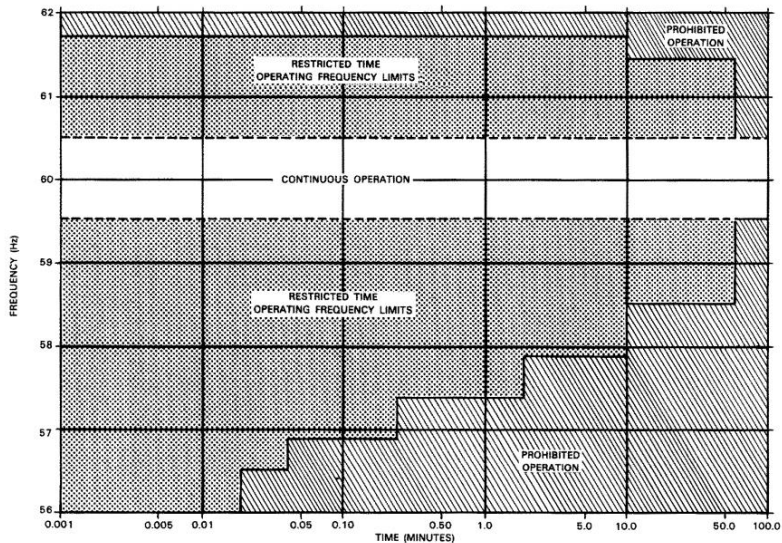
Pada mode ini governor sudah memiliki *set point* daya mekanik yang besarnya sesuai dengan rating generator atau menurut kebutuhan, dengan adanya *fixed setting*, nilai *output* daya listrik generator akan tetap. Ketika terjadi perubahan beban, putaran turbin tidak berubah (daya berbanding lurus dengan putaran) [15].

2.12 Standar yang Berkaitan dengan Kestabilan Transien

2.12.1 Standar Frekuensi

Standar frekuensi yang digunakan yaitu IEEE Std C37.106-2003. IEEE Std.106-2003 menggunakan frekuensi 60 Hz. Namun dalam penelitian tugas akhir kali ini menggunakan frekuensi 50 Hz dan simulasi dilakukan selama 60 detik. Oleh karena itu perlu mengubah satuan dalam bentuk % agar dapat digunakan untuk frekuensi 50 Hz. Batas frekuensi maksimal ketika terjadi gangguan transien 61,5 Hz. Untuk sistem dengan frekuensi 50 Hz, maka $(61,5/60) \times 100\% = 102,5\%$ dan batas minimum ketika terjadi gangguan transien 59,5 Hz. Untuk sistem dengan frekuensi 50 Hz, maka $(59,5/60) \times 100\% = 99,17\%$. Frekuensi diharapkan tidak sampai menyentuh batas atas 102,5% dan batas bawah 99,17% saat *steady state* [16].

Operasi frekuensi yang diijinkan dapat dilihat pada Gambar 2.8



Gambar 2. 8 Standar Frekuensi (IEEE Std C37.106-2003)

Pada Gambar 2.8 terdapat 3 daerah operasi untuk *steam turbin generator*, yakni:

1. *Prohibited operation* merupakan daerah frekuensi terlarang, sehingga frekuensi tidak diijinkan mencapai daerah tersebut.
2. *Continuous operation* merupakan daerah frekuensi normal.
3. *Restricted time operating frequency limits* merupakan daerah frekuensi yang masih diijinkan namun hanya bersifat sementara (tergantung besar frekuensi dan waktu). Semakin besar turun frekuensinya maka semakin pendek waktu yang diijinkan frekuensi pada kondisi tersebut.

2.12.2 Standar Tegangan

Tabel 2. 2 Standar batas tegangan (durasi pendek)

<i>Short Duration (rms)</i>	<i>Categories</i>	<i>Typical Duration</i>	<i>Typical Voltage Magnitude</i>
<i>Instantaneous</i>	<i>Sag</i>	0,5 - 30 cycles	0,1 – 0,9 pu
	<i>Swell</i>	0,5 - 30 cycles	1,1 – 1,8 pu
<i>Momentary</i>	<i>Interruption</i>	0,5 cycles – 3s	<1 pu
	<i>Sag</i>	30 cycles – 3s	0,1 – 0,9 pu
	<i>Swell</i>	30 cycles – 3s	1,1 – 1,4 pu
<i>Temporary</i>	<i>Interruption</i>	>3s – 1min	<1 pu
	<i>Sag</i>	>3s – 1min	0,1 – 0,9 pu
	<i>Swell</i>	>3s – 1min	1,1 – 1,2 pu

Tabel 2. 3 Standar batas tegangan (durasi panjang)

<i>Long Duration (rms)</i>	<i>Typical Duration</i>	<i>Typical Voltage Magnitude</i>
<i>Interruption, sustained</i>	>1min	0,0 pu
<i>Undervoltage</i>	>1min	0,8 – 0,9 pu
<i>Overvoltage</i>	>1min	1,1 – 1,2 pu
<i>Current overload</i>	>1min	

Pada Tabel 2.2 menunjukkan standar IEEE 1159 untuk batas tegangan (durasi pendek) atau *short duration*. *Short duration* dibedakan menjadi tiga yaitu *Instantaneous*, *momentary*, dan *temporary*. Sehingga apabila ada tegangan yang sampai batas tersebut maka harus segera diperbaiki. Pada Tabel 2.3 menunjukkan batas tegangan (durasi panjang) atau *long duration*. Tegangan yang diijinkan hanya $\pm 10\%$ dari tegangan normal. Bila ada tegangan diatas 110% atau dibawah 90% [13]. Maka tegangan tersebut tidak boleh beroperasi dan harus dilakukan perbaikan.

2.13 Metode Pelepasan Beban

Metode pelepasan beban harus dilakukan ketika terjadi generator *outage* dan hubunng singkat yang mengakibatkan sistem menjadi tidak stabil. Hal ini memberikan indikasi turunnya frekuensi sistem yang menurun dengan cepat mencapai kondisi standar yang tidak diijinkan.

Untuk menghindari sistem tidak stabil ini perlu dilakukan mekanisme pelepasan beban. Tujuan dari pelepasan beban yaitu agar jumlah suplai daya dan permintaan beban dapat seimbang. Pelepasan beban dapat dilakukan dengan dua cara yaitu pelepasan beban secara otomatis dan pelepasan beban secara manual.

2.13.1 Pelepasan Beban secara Otomatis

Pelepasan beban secara otomatis ini menggunakan rele *under frekuensi* berdasarkan standar yang diperbolehkan. Rancangan pelepasan beban ini harus dalam kondisi maksimum *overload* dan memastikan bahwa beban yang dilepas cepat mengembalikan ke frekuensi normal. Pelepasan beban secara otomatis memerlukan piranti-piranti yang dapat melindungi sistem secara cepat apabila terjadi perubahan frekuensi yang besar dalam periode singkat. Pelepasan beban dilakukan secara bertahap Hal ini untuk menghindari ketika dilakukan pelepasan beban terjadi *over voltage*. Rele *under frekuensi* ditempatkan pada interkoneksi dengan pemutus daya pada feeder yang ingin di lepas.

2.13.2 Pelepasan Beban secara Manual

Pelepasan beban secara manual dilakukan dengan cara membuka *circuit breaker* secara manual dan dipakai dalam keadaan tidak begitu darurat seperti pertambahan beban yang melebihi suplai daya dari tenaga pembangkit atau segala gangguan yang menyebabkan turunnya frekuensi dan tegangan sistem. Jika turunnya tegangan dan frekuensi ini dianggap berbahaya, maka secara manual akan mengambil inisiatif untuk melepaskan sebagian beban agar kestabilan sistem tetap terjaga. Dengan adanya pelepasan beban tersebut diharapkan perubahan tegangan atau frekuensi tidak berakibat fatal terhadap beban-beban yang sensitif terhadap perubahan tegangan atau frekuensi.

2.14 Reverse Power

Reverse power dapat terjadi apabila ada perubahan kerja dari generator yang semula menjadi penyuplai daya menjadi motor. Hal ini terjadi karena pada dasarnya antara generator dan motor memiliki konstruksi yang sama dan jika generator bergabung dalam suatu jaringan dengan generator lain. *Reverse power* dapat mengakibatkan ledakan pada ruang bakar generator karena adanya akumulasi bahan bakar yang tidak terbakar sedangkan rotor terus berputar dan gear box pada gas turbin akan

mengalami kerusakan. Oleh sebab itu perlu dipasang rele *reverse power* sebagai pengamannya.

2.15 Standar Pelepasan Beban

Terdapat dua skema pelepasan beban yang mengacu pada standar ANSI/IEEE C37.106-2003 yaitu pelepasan beban tiga langkah dan pelepasan beban enam langkah. Tabel 2.4 dan Tabel 2.5 merupakan skema pelepasan beban tiga langkah dan enam langkah berdasarkan standar ANSI/IEEE C37.106-2003.

Tabel 2. 4 Skema pelepasan beban tiga langkah

Step	Frequency Trip Point (Hz)		%	Percent of Load Shedding (%)	Fixed Time Delay (Cycles) on Relay
	Sistem 60 (Hz)	Sistem 50 (Hz)			
1	59,3	49,41	98,83	10	6
2	58,9	49,08	98,16	15	6
3	58,5	48,75	97,5	<i>As required to arrest decline before 58,2(97%) Hz</i>	

Tabel 2. 5 Skema pelepasan beban enam langkah

Step	Frequency Trip Point (Hz)	Percent of Load Shedding (%)	Fixed Time Delay (Cycles) on relay
1	59,5	10	6
2	59,2	10	6
3	58,8	5	6
4	58,8	5	14
5	58,4	5	14
6	58,4	5	21

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BAB 3

SISTEM KELISTRIKAN PT. KALTIM METHANOL INDUSTRI (KMI)

3.1 Sistem Kelistrikan PT. Kaltim Methanol Industri

PT. Kaltim Methanol Industri memiliki 3 unit pembangkit (2 unit pembangkit tidak beroperasi) antara lain *main power generator* (MPG) dengan kapasitas 1 x 7MW dan *Emergency power generator* (EPG) dengan kapasitas 2 x 1,5MW. Sistem yang digunakan pada sistem ini adalah radial dengan tegangan 6,6 kV dan 0,4 kV. *Single line diagram* sistem kelistrikan PT. Kaltim Methanol Industri yang di integrasikan dengan PT. Kaltim Daya Mandiri dapat dilihat pada Gambar 3.1 dibawah ini.

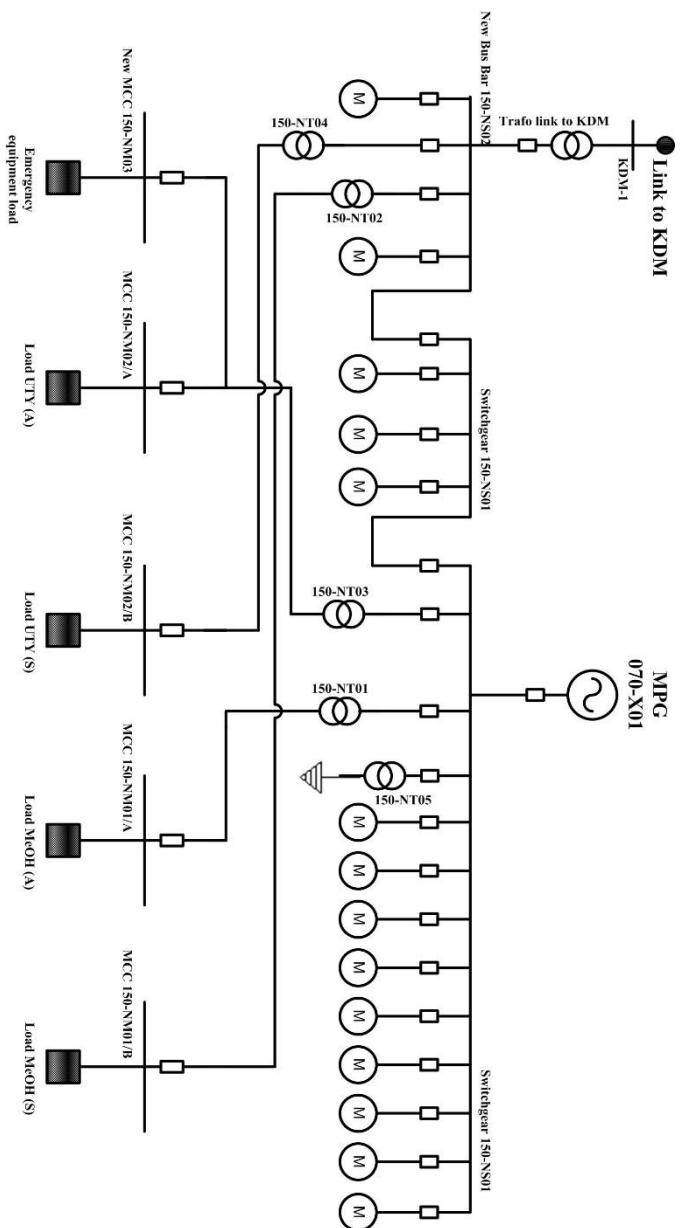
3.2 Jumlah Total Pembangkitan, Pembebanan, dan Demand

Summary simulasi yang dilakukan pada ETAP dari total pembangkitan, pembebanan dan *demand* dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut ini :

Tabel 3. 1 Jumlah total pembangkitan, pembebanan, dan *demand*

	MW	Mvar	MVA	%PF
<i>Source (swingbus)</i>	19,383	14,757	24,361	79,57
<i>Source (non swingbus)</i>	71,5	52,419	88,656	80,65
<i>Total motor load</i>	73,239	52,744	90,255	81,15
<i>Total static load</i>	17,544	12,442	21,508	81,57
<i>Total Demand</i>	90,883	67,176	113,015	80,42
<i>Apparent Losses</i>	0,100	1,990	-	-

Terlihat Tabel 3.1 diatas merupakan data pembangkitan, pembebanan, dan *demand* pada PT. Kaltim Methanol Industri yang diintegrasikan dengan PT. Kaltim Daya Mandiri.



Gambar 3. 1 *Single line diagram* PT. Kalim Methanol Industri

3.3 Sistem Pembangkitan

Sistem pembangkit pada PT. Kaltim Methanol Industri adalah 3 unit STG (*steam turbin generator*), yaitu *main power generator* (MPG 070-X01), *Emergency power generator 1* (EPG 075-X01), dan *Emergency power generator 2* (EPG 075-X02). Masing – masing generator memiliki kapasitas pembangkitan yang berbeda. MPG 070-X01 memiliki kapasitas 7 MW dan EPG memiliki kapasitas 2x1,5 MW. Saat operasi normal hanya pembangkit MPG saja yang beroperasi, sedangkan pembangkit EPG sebagai cadangan. Tabel keseluruhan unit pembangkit di PT. Kaltim Methanol Industri ditunjukkan pada Tabel 3.2 berikut ini :

Tabel 3. 2 Data kapasitas pembangkit PT. Kaltim Methanol Industri

No	ID	MW	MVA	kV	%PF	%Eff	rpm
1	MPG 070-X01	7	8,75	6,6	80	97	1500
2	EPG 075-X01	1,5	1,875	6,6	80	97	1500
3	EPG 075-X02	1,5	1,875	6,6	80	97	1500

Spesifikasi generator yang terdapat di PT. Kaltim Methanol Industri dan PT. Kaltim Daya Mandiri dapat dilihat pada Tabel 3.3 dan Tabel 3.4 dibawah ini.

Tabel 3. 3 Data spesifikasi generator

Spesifikasi	MPG	SG KDM1	SG KDM2	SG KDM3	SG KDM4	SG KDM5
Rating	7 MW	34 MW	36,4 MW	30 MW	21,6 MW	16 MW
Daya mampu	5,3 MW	20,5 MW	19,4 MW	17 MW	16 MW	12,7 MW
Tegangan	6,6 kV	6,6 kV	11 kV	11 kV	11 kV	6,6 kV
frekuensi	50 Hz	50 Hz	50 Hz	50 Hz	50 Hz	50 Hz
rpm	1500	3000	1500	1500	1500	1500
PF	80%	80%	80%	80%	80%	80%
FLA	765,4 A	2231 A	2388 A	1968 A	1417 A	1750 A

Tabel 3. 4 Data spesifikasi generator (lanjutan)

Spesifikasi	MPG	SG KDM1	SG KDM2	SG KDM3	SG KDM4	SG KDM5
<i>Type Exciter</i>	AC3	2	2	2	2	2
<i>Type Governor</i>	ST3	2301	2301	2301	2301	2301
H	1,029	1,835	5,25	2,273	0,78	5,24
<i>Direct axis synchronous reactance (X_d)</i>	165	246,6	246,3	205,4	220	238,8
<i>Direct axis transient reactance (X_d')</i>	14	25,9	24,9	17,7	19,7	23,7
<i>Direct axis sub-transient reactance (X_d'')</i>	10	16,9	16,1	11,6	16,1	15,2
<i>Negative sequence reactance (X_2)</i>	12	12	12	12	18,3	12
<i>Zero sequence reactance (X_0)</i>	12	25,9	9,9	12	7,6	22
<i>Quadrature axis synchronous reactance (X_q)</i>	108	222,2	231,5	189,8	108	238,8
<i>Quadrature axis transient reactance (X_q')</i>	15	25,9	54,9	17,7	19,7	53,1
<i>Quadrature axis sub-transient reactance (X_q'')</i>	12	18,5	15,6	17	16,1	14,7
<i>Transient direct axis open circuit transient (T_{do}')</i>	4,15	5,75	4,648	6,455	6,7	4,641
<i>Transient direct axis open circuit transient (T_{do}'')</i>	0,02	0,032	0,023	0,02	0,029	0,002

3.4 Sistem Distribusi PT. Kaltim Methanol Industri

Sistem distribusi pada PT. Kaltim Methanol Industri menggunakan sistem radial dengan tegangan bus utama 6,6 kV dan 0,4 kV untuk tegangan rendah.

Sistem ini akan diintegrasikan dengan PT. Kaltim Daya Mandiri sehingga diharapkan ketika *main power* generator (MPG 070-X01) tiba-tiba mati maka ada beban motor yang khusus yang terdapat di PT. Kaltim

Methanol Industri yang tidak boleh mati. Apabila beban itu mati maka PT. Kaltim Methanol Industri dapat berhenti beroperasi sehingga menimbulkan banyak kerugian.

Pada sistem kelistrikan PT. Kaltim Methanol Industri ditunjang dengan beberapa transformator sebelum masuk ke beban guna menurunkan tegangan 6,6 kV menjadi tegangan rendah 0,4 kV. Tabel 3.5 merupakan data bus dan Tabel 3.6 menunjukkan data beberapa transformator daya yang ada di PT. Kaltim Methanol Industri. Tabel 3.5 dan Tabel 3.6 dapat dilihat dibawah ini :

Tabel 3. 5 Data *bus*

No	Bus	Tegangan
1	Bus 26	11 kV
2	New Bus Bar 150-NS02	6,6 kV
3	Switchgear 150-NS01	6,6 kV
4	Bus 150-NT01	6,6 kV
5	Bus 150-NT02	6,6 kV
6	Bus 150-NT03	6,6 kV
7	Bus 150-NT04	6,6 kV
8	Bus MCC 150-NM01/A	0,4 kV
9	Bus MCC 150-NM01/B	0,4 kV
10	Bus MCC 150-NM02/A	0,4 kV
11	Bus MCC 150-NM02/B	0,4 kV
12	Bus New MCC 150-NM03	0,4 kV

Tabel 3. 6 Data Transformator

No	ID	MVA	Tegangan (kV)		%Z	X/R
			Primer	Sekunder		
1	TR link to KDM	4	11	6,6	5,75	7,1
2	TR 150-NT01	1,6	6,6	0,4	5,75	7,098
3	TR 150-NT02	1,6	6,6	0,4	5,75	7,098
4	TR 150-NT03	1,6	6,6	0,4	5,75	7,098
5	TR 150-NT04	1,6	6,6	0,4	5,75	7,098
6	TR 150-NT05	0,6	6,6	0,4	5,75	7,1

3.5 Beban yang Terdapat di PT. Kaltim Methanol Industri

Ada beberapa beban motor yang digunakan untuk menunjang kegiatan operasi di PT. Kaltim Methanol Industri. Motor yang digunakan kebanyakan menggunakan motor induksi. Beban motor yang berkapasitas besar menggunakan tegangan 6,6 kV dan beban motor yang berkapasitas kecil menggunakan tegangna 0,4 kV. Pada Tabel 3.7 dibawah ini ditunjukkan beberapa beban motor yang terdapat di PT. Kaltim Methanol Industri :

Tabel 3. 7 Data beberapa motor di PT. Kaltim Methanol Industri

No	ID	Rating	kVA	kV	FLA	rpm
1	065-G01A	1150 kW	1482	6,6	129,6	1500
2	065-G01BM	1150 kW	1482	6,6	129,6	1500
3	065-G01CM	1150 kW	1482	6,6	129,6	1500
4	065-G01SM	1150 kW	1482	6,6	129,6	1500
5	140-C01M	250 kW	313	6,6	27,41	1500
6	110-G01BM	280 kW	350	6,6	30,63	1500
7	110-G01AM	280 kW	350	6,6	30,63	1500
8	015-G06SM	260 kW	311	6,6	27,21	3000
9	015-G06AM	260 kW	311	6,6	27,21	3000
10	015-G05SM	650 kW	765	6,6	66,89	3000
11	015-G01SM	850 kW	977	6,6	85,44	1500
12	010-C02M	400 kW	522	6,6	45,7	1500
13	010-C01M	530 kW	689	6,6	60,24	1500
14	010-CC20-01M	0,55 kW	1	0,4	1,51	3000
15	010-GC20-01M	18,5 kW	24,8	0,4	35,75	1500
16	010-G01AM	15 kW	19,8	0,4	28,64	1500
17	050-C01-AM	4 kW	6,1	0,4	8,8	1500
18	050-C02-AM	11 kW	14,5	0,4	20,95	3000

BAB 4

HASIL SIMULASI ANALISIS KESTABILAN TRANSIEN DAN KOORDINASI PROTEKSI PT. KMI

4.1 Pemodelan Sistem Kelistrikan PT. KMI

Pemodelan sistem kelistrikan PT. Kaltim Methanol Industri (KMI) dilakukan dengan menggambarkan *single line diagram* pada *software* ETAP. Langkah awal untuk membuat *single line diagram* di *software* ETAP dibutuhkan data-data peralatan yang meliputi data generator, transformator, motor, kabel, dan bus.

Setelah pemodelan selesai, dilanjutkan dengan melakukan analisis aliran daya untuk mengetahui kondisi sistem. Dari analisis ini dapat diketahui bagaimana kondisi sistem pada PT. KMI setelah dintegrasikan dengan PT. Kaltim Daya Mandiri (KDM), selanjutnya dilakukan simulasi hubung singkat untuk melakukan koordinasi proteksi pada PT.KMI. Setelah itu dilakukan simulasi dan analisis kestabilan transien pada PT. KMI.

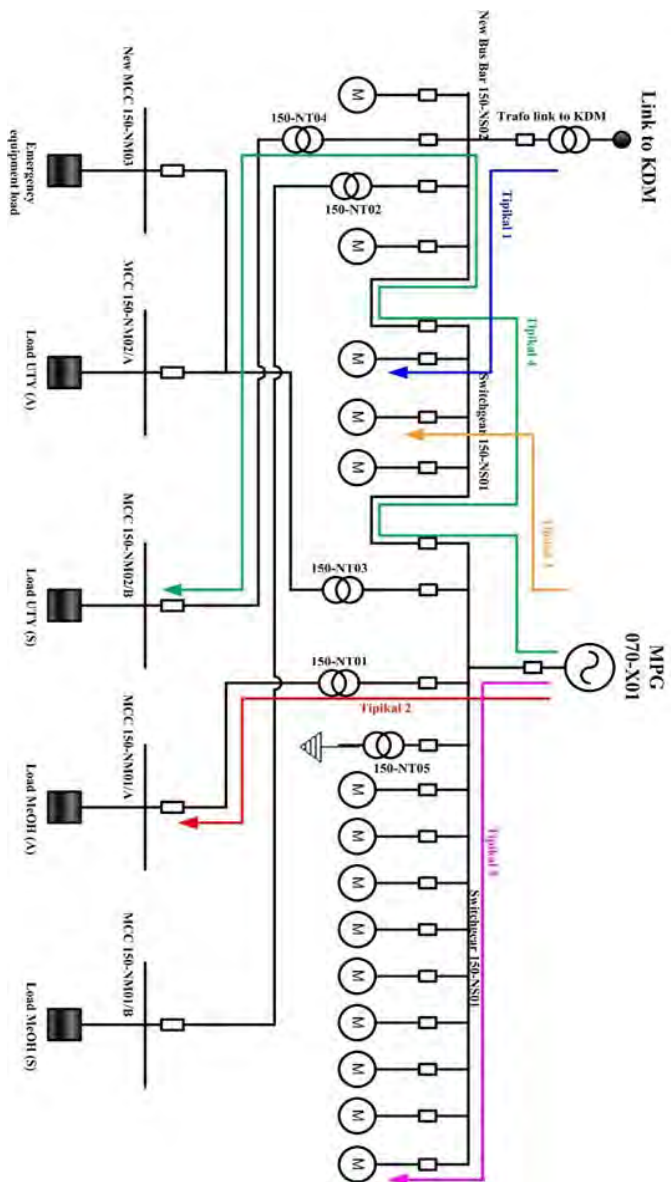
4.2 Pemilihan Tipikal Koordinasi Pada PT. KMI

Pemilihan tipikal ini bertujuan untuk mempermudah menganalisa tentang koordinasi pengaman pada PT. KMI. Pada koordinasi pengaman arus lebih PT. KMI dipilih 5 tipikal yang mewakili keseluruhan sistem. Tipikal – tipikal tersebut dipilih berdasarkan saluran terpanjang, saluran terpendek, dan beban terbesar pada sistem kelistrikan di PT. KMI. 5 tipikal tersebut antara lain:

1. Tipikal 1: Koordinasi sistem pengaman dari *link to* KDM sampai dengan beban motor 065-G01BM. Pemilihan tipikal ini berdasarkan motor yang terbesar dari trafo *link to* KDM dan tipikal ini melewati tie penghubung antara PT. KMI dan PT. KDM.
2. Tipikal 2: Koordinasi sistem pengaman dari generator MPG 070-X01 menuju beban *load* MeOH (A). Pemilihan tipikal ini berdasarkan saluran terpanjang dari generator menuju beban *load* MeOH (A).
3. Tipikal 3: Koordinasi sistem pengaman dari generator MPG 070-X01 menuju beban motor 065-G01CM. Pemilihan tipikal ini berdasarkan motor yang terbesar dari generator dan tipikal ini melewati tie penghubung antara PT. KMI dan PT. KDM.

4. Tipikal 4: Koordinasi sistem pengaman dari generator MPG 070-X01 menuju beban *load* MCC 150-NM02/B. Pemilihan tipikal ini berdasarkan saluran terpanjang dari generator menuju beban *load* MCC 150-NM02/B dan tipikal ini melewati tie penghubung antara PT. KMI dan PT. KDM.
5. Tipikal 5: Koordinasi sistem pengaman dari Generator MPG 070-X01 menuju beban motor 010-C01 M.

Untuk gangguan fasa ke tanah dipilih dua tipikal yaitu tipikal 1 dan tipikal 4. Karena tipikal ini sudah memenuhi semua sistem pengaman untuk gangguan fasa ke tanah. Tipikal koordinasi proteksi pada PT. KMI dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Tipikal koordinasi proteksi PT. Kalim Methanol Industri

4.3 Analisis Arus Gangguan Hubung Singkat

Untuk mensetting rele pengaman arus lebih perlu dilakukan analisis gangguan hubung singkat di setiap bus pada tipikal yang telah dipilih. Terdapat 2 parameter arus gangguan hubung singkat yang digunakan untuk mensetting rele pengaman yaitu arus gangguan hubung singkat minimum dan maksimum. Nilai arus gangguan maksimum adalah ketika terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa, sedangkan nilai arus hubung singkat minimum adalah saat terjadi gangguan hubung singkat 2 fasa. Nilai gangguan tersebut digunakan untuk mensetting rele arus lebih.

4.3.1 Analisis Hubung Singkat Minimum

Untuk mensetting rele pengaman arus lebih digunakan nilai arus hubung singkat 2 fasa pada saat 30 *cycle*. Hal ini digunakan untuk membatasi setting arus ketika mensetting pada sisi instan. Sehingga ketika terjadi gangguan hubung singkat minimum rele akan bekerja dengan tepat dan cepat sesuai dengan time delay yang telah ditentukan. Hasil simulasi hubung singkat 2 fasa pada saat 30 *cycle*, sehingga hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4.1

Tabel 4. 1 Data arus hubung singkat minimum

Bus/Peralatan	Tegangan	Arus hubung singkat 2 fasa 30 cycle
New Bus Bar 150-NS02	6,6 kV	9,43 kA
Switchgear 150-NS01	6,6 kV	9,43 kA
MPG 070-X01	6,6 kV	5,06 kA
Sek. Trafo Link to KDM	6,6 kV	4,41 kA
Bus 150-NT01	6,6 kV	9,34 kA
New MCC 150-NM03	0,4 kV	28,38 kA
MCC 150-NM02/A	0,4 kV	28,38 kA
MCC 150-NM02/B	0,4 kV	28,38 kA
MCC 150-NM01/A	0,4 kV	28,38 kA
MCC 150-NM01/B	0,4 kV	28,38 kA

4.3.2 Analisis Hubung Singkat Maksimum

Arus hubung singkat maksimum adalah arus hubung singkat 3 fasa pada saat 4 *cycle*, digunakan hubung singkat ketika 4 *cycle* karena rele arus lebih bekerja pada 3-5 *cycle*. Hubung singkat maksimum ini

digunakan untuk membatasi arus hubung singkat terbesar yang mungkin terjadi. Arus hubung singkat maksimum 4 *cycle* digunakan untuk setting rele arus lebih dengan time delay antara 0,08 sekon sampai 0,5 sekon. Sedangkan arus hubung singkat maksimum 30 *cycle* digunakan untuk setting rele arus lebih dengan time delay 0,6 sekon atau lebih. Pada simulasi hubung singkat ini dilakukan hubung singkat maksimum 4 *cycle* dan 30 *cycle*, sehingga hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4.2

Tabel 4. 2 Data arus hubung singkat maksimum

Bus/Peralatan	Tegangan	Arus hubung singkat 3 fasa 4 cycle	Arus hubung singkat 3 fasa 30 cycle
New Bus Bar 150-NS02	6,6 kV	14,87 kA	10,33 kA
Switchgear 150-NS01	6,6 kV	14,91 kA	10,33 kA
MPG 070-X01	6,6 kV	7,57 kA	5,43 kA
Trafo link to KDM	6,6 kV	5,25 kA	4,92 kA
Bus Trafo 150-NT01	6,6 kV	14,72 kA	10,2 kA
New MCC 150-NM03	0,4 kV	35,33 kA	32,45 kA
MCC 150-NM02/A	0,4 kV	35,33 kA	32,45 kA
MCC 150-NM02/B	0,4 kV	34,45 kA	32,43 kA
MCC 150-NM01/A	0,4 kV	35,69 kA	32,45 kA
MCC 150-NM01/B	0,4 kV	34,45 kA	32,46 kA

4.4 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa

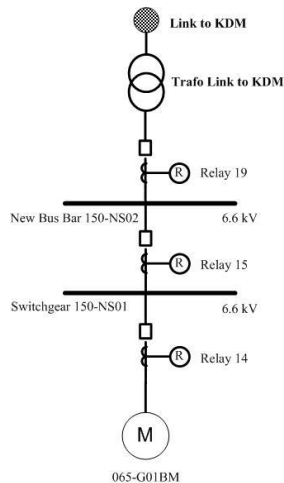
Rele arus lebih ini berguna untuk mengamankan gangguan arus lebih fasa yang berupa *over load* dan *short circuit*, untuk koordinasi rele arus lebih gangguan fasa dilakukan setting arus dan waktu pada masing - masing rele agar setiap rele dapat bekerja sesuai yang diharapkan. Koordinasi ini bertujuan untuk mengisolasi gangguan agar tidak mengganggu peralatan yang lain. Sehingga hasil koordinasi tidak diharapkan ada beberapa rele yang bekerja bersamaan atau terjadi *overlap* antara rele yang satu dengan rele yang lain. Karena hal itu *setting* rele arus lebih ini harus dihitung nilai *low set*, *high set*, *time dial* dan *time delay* harus sesuai standart IEEE 242, *grading time* untuk rele digital adalah 0,2

sampai 0,3 detik. Pada tugas akhir ini yang dipilih dengan *gradding time* 0,2 detik.

Setelah dilakukan perhitungan untuk nilai *low set*, *high set*, *time dial*, dan *time delay*, selanjutnya tipikal diplot pada *Star Protective Device Coordination* sehingga *time current curve* masing - masing rele dapat terlihat dimana pada *time current curve* tersebut bisa dilihat koordinasinya apakah sudah betul atau tidak. Rele pengaman harus memperhatikan arus *starting* motor dan arus pengisian (*inrush current*) pada trafo.

4.4.1 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 1

Koordinasi rele tipikal 1 merupakan jalur terpendek dan motor terbesar dari trafo *link to* KDM menuju beban motor 065-G01 BM yang melewati tie penghubung antara PT. Kaltim Daya Mandiri (PT. KDM) dengan PT. Kaltim Methanol Industri (PT. KMI), ini merupakan koordinasi yang baru maka tidak ada data eksisting dan perlu disetting dari awal. Sehingga jalur ini melalui rele 19, rele 15, dan rele 14. Gambar *Single line diagram* tipikal 1 dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 2 *Single line diagram* tipikal 1

Berikut ini merupakan perhitungan rele – rele yang akan disetting dan parameter dari masing – masing rele di tipikal 1.

• **Rele 14**

<i>Manufacturer</i>	: GE Multilin
<i>Model</i>	: 489
FLA Motor 065-G01BM	: 129,6 A
Iscmin 30 cycle bus 150-NS01	: 9,43 kA
<i>Curve Type</i>	: ANSI - <i>Extremely Inverse</i>
<i>CT Ratio</i>	: 150 / 1

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA mtr065G01BM} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA mtr065G01BM}$$

$$1,05 \times 129,6 < \text{Iset} < 1,4 \times 129,6$$

$$\frac{136,08}{150} \text{In} < \text{Tap} < \frac{181,44}{150} \text{In}$$

$$0,9072 \text{In} < \text{Tap} < 1,2096 \text{In}$$

(range 0,15In - 20In ; step 0,01In)

Dipilih Tap = 0,91 In

Iset = 136,5 A

Time dial

Dipilih waktu operasi (t) = 10 detik

I_{LRC} motor 065G01BM = 842,4 A

$$t = \left(0,0399 + \left(\frac{0,2294}{\left(\left(I/I_{pickup} \right)^{-0,5} \right)} + \left(\frac{3,0094}{\left(\left(I/I_{pickup} \right)^{-0,5} \right)^2} + \left(\frac{0,7222}{\left(\left(I/I_{pickup} \right)^{-0,5} \right)^3} \right) \right) \right) \right) * \text{TD}$$

$$t = \left(0,0399 + \left(\frac{0,2294}{\left(\left(\frac{842,4}{136,5} \right) - 0,5 \right)} + \left(\frac{3,0094}{\left(\left(\frac{842,4}{136,5} \right) - 0,5 \right)^2} + \left(\frac{0,7222}{\left(\left(\frac{842,4}{136,5} \right) - 0,5 \right)^3} \right) \right) \right) \right) * TD$$

$$10 = (0,0399 + 0,0404 + 0,0936 + 0,0039) * TD$$

$$TD = \frac{10}{0,1778} = 56,24$$

Dipilih time dial = 56,24

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA < I_{\gg} < 0,8 \times I_{scmin} \text{ bus 150-NS01}$$

$$1,6 \times 129,6 < I_{\gg} < 0,8 \times 9430$$

$$207,6 < I_{\gg} < 7544$$

$$\frac{207,6}{150} I_n < Tap < \frac{7544}{150} I_n$$

$$1,38 I_n < Tap < 50,29 I_n$$

(range $0,15 I_n$ - $20 I_n$; step $0,01 I_n$)

Dipilih Tap = $8 I_n$

Iset = 1200 A

Time delay

Dipilih Time delay = 0,1 s

• Rele 15

Manufacturer : GE Multilin

Model : 489

FLA sekunder trafo link to KDM : 349,9 A

Iscmin 30 cycle bus 150-NS01 : 9,43 kA

Curve Type : ANSI - Extremely Inverse

CT Ratio : 400 / 1

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA \text{ sek trf linktoKDM} < I_{set} < 1,4 \times FLA \text{ sek trf linktoKDM}$$

$$1,05 \times 349,9 < I_{set} < 1,4 \times 349,9$$

$$\frac{367,4}{400} I_n < Tap < \frac{489,86}{400} I_n$$

$0,92 \text{ In} < \text{Tap} < 1,22 \text{ In}$
 (range $0,15 \text{ In} - 20 \text{ In}$; step $0,01 \text{ In}$)
 Dipilih Tap = $0,95 \text{ In}$
 Iset = 380 A

Time dial

Dipilih waktu operasi (t) = 1,1 detik
 Isc max 4 cycle bus 150-NS01 = 14,91 kA

$$t = \left(0,0399 + \left(\frac{0,2294}{\left(\left(I/I_{pickup} \right)^{-0,5} \right)} + \left(\frac{3,0094}{\left(\left(I/I_{pickup} \right)^{-0,5} \right)^2} + \left(\frac{0,7222}{\left(\left(I/I_{pickup} \right)^{-0,5} \right)^3} \right) \right) \right) \right) * \text{TD}$$

$$1,1 = \left(0,0399 + \left(\frac{0,2294}{\left(\left(14910/380 \right)^{-0,5} \right)} + \left(\frac{3,0094}{\left(\left(14910/380 \right)^{-0,5} \right)^2} + \left(\frac{0,7222}{\left(\left(14910/380 \right)^{-0,5} \right)^3} \right) \right) \right) \right) * \text{TD}$$

$$1,1 = (0,0399 + 0,0059 + 0,0020 + 0,00001) * \text{TD}$$

$$\text{TD} = \frac{1,1}{0,04781} = 23$$

Dipilih time dial = 23

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times \text{FLA} < I_{\gg} < 0,8 \times \text{Iscmin bus 150-NS01}$$

$$1,6 \times 349,9 < I_{\gg} < 0,8 \times 9430$$

$$559,84 < I_{\gg} < 7544$$

$$\frac{559,84}{400} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{7544}{400} \text{ In}$$

$$1,4 \text{ In} < \text{Tap} < 18,86 \text{ In}$$

(range 0,15In - 20In ; step 0,01In)

Dipilih Tap = 4,8In

Iset = 1920 A

Time delay

Dipilih *Time delay* = 0,3 s

• **Rele 19**

Manufacturer : Merlin Gerlin

Model : Sepam 1000

FLA sekunder trafo link to KDM : 349,9 A

Isc min 30 cycle kontribusi trafo : 4,41 kA

Curve Type : *Extremely Inverse*

CT Ratio : 400 / 1

Time Overcurrent Pickup

$1,05 \times \text{FLA sek trf linktoKDM} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA sek trf linktoKDM}$

$1,05 \times 349,9 < \text{Iset} < 1,4 \times 349,9$

$$\frac{367,4}{400} \text{In} < \text{Tap} < \frac{489,86}{400} \text{In}$$

$$0,92 \text{ In} < \text{Tap} < 1,22 \text{ In}$$

(range 0,3In – 2,4In ; step 0,05In)

Dipilih Tap = 0,95 In

Iset = 380 A

Time dial

Dipilih waktu operasi (t) = 1 detik

Isc max kontribusi trafo *link to* KDM = 5,25 kA

$$t = \left(\frac{80}{\left(\frac{1}{I_{\text{pickup}}} \right)^2 - 1} \right) \frac{\text{TD}}{0,808}$$

$$1 = \left(\frac{80}{\left(\frac{5250}{380} \right)^2 - 1} \right) \frac{\text{TD}}{0,808}$$

$$\text{TD} = \frac{1}{0,5214} = 1,92$$

Dipilih time dial = 1,92

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA < I_{set} < 0,8 \times I_{scmin} \text{ kntribusi trf link KDM}$$

$$1,6 \times 349,9 < I_{set} < 0,8 \times 4410$$

$$559,84 < I_{set} < 3528$$

$$\frac{559,84}{400} I_n < Tap < \frac{3528}{400} I_n$$

$$1,39 I_n < Tap < 8,82 I_n$$

(range $I_n - 24I_n$; step $0,1I_n$)

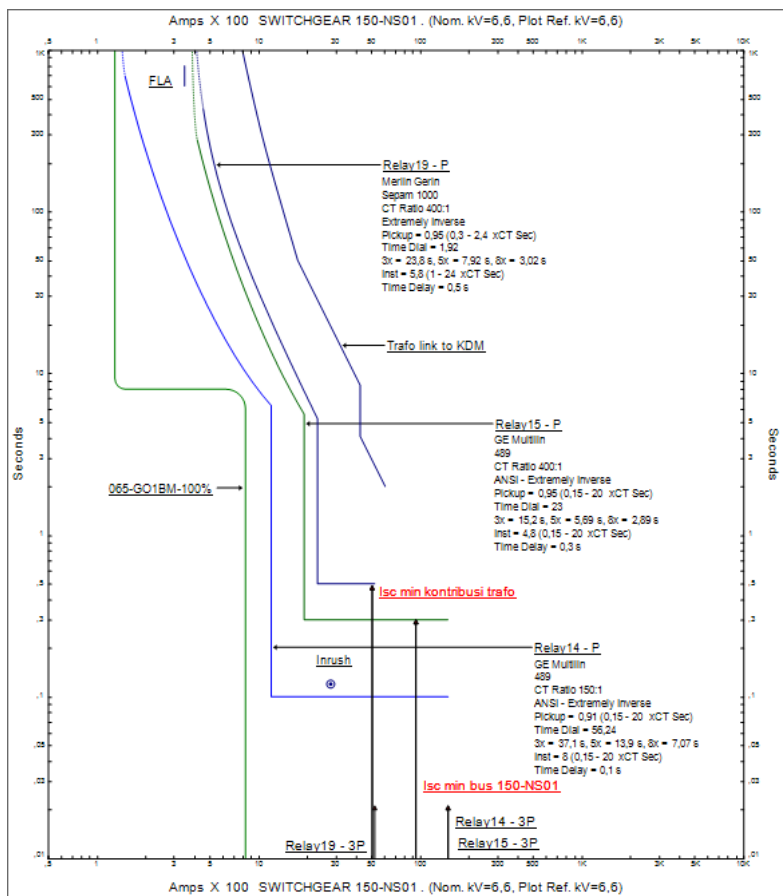
Dipilih Tap = $5,8I_n$

Iset = 2320 A

Time delay

Dipilih *Time delay* = 0,5 s

Setelah dilakukan perhitungan diatas lalu hasil perhitungan tersebut diplot kurva koordinasi proteksi dengan menggunakan software ETAP. Hasil plot dapat dilihat pada Gambar 4.3 dibawah ini.



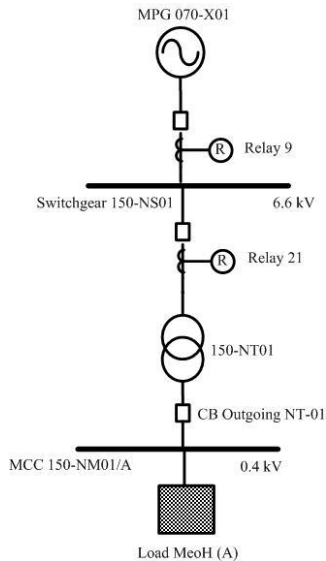
Gambar 4. 3 Koordinasi proteksi tipikal 1

Hasil plot pada Gambar 4.3 dapat dilihat bahwa settingan rele ini sudah aman karena Isc min bus 150-NS01 dan Isc min kontribusi trafo *link to KDM* mengenai kurva *definite*. Serta *setting* untuk *time delay* setiap rele sudah tepat dan *setting grading time* setiap rele 0,2 detik.

4.4.2 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 2

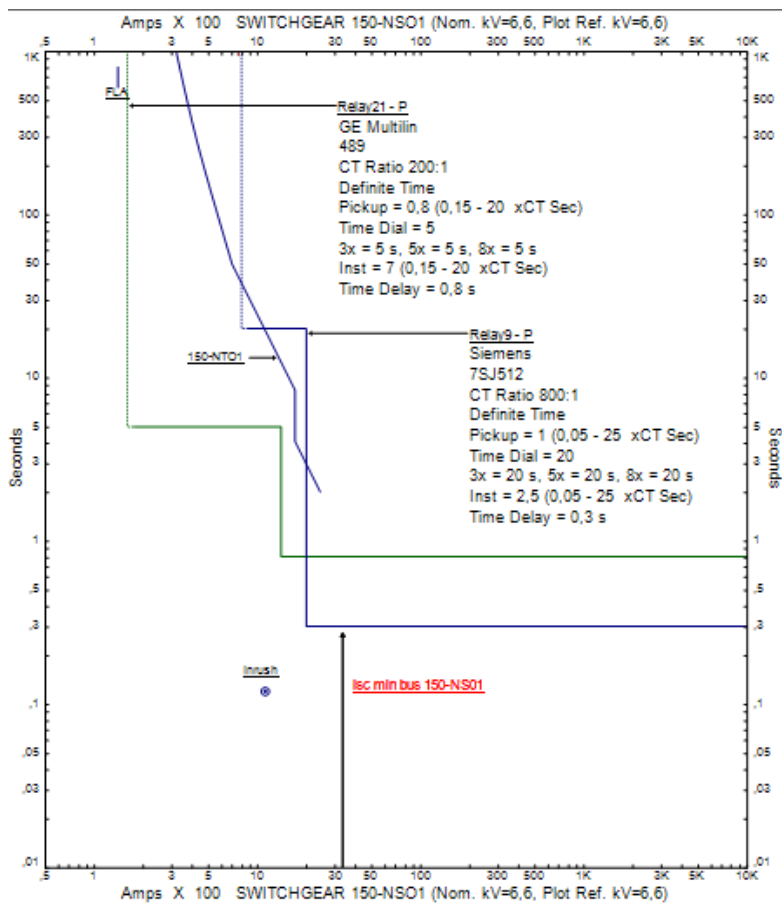
Koordinasi proteksi tipikal 2 ini merupakan jalur terpanjang dari generator MPG 070-X01 menuju beban load MeOH (A). Rele yang

dikoordinasikan adalah rele 9, rele 21 dan CB *outgoing* NT-01. Gambar *Single line diagram* tipikal 2 dapat dilihat pada Gambar 4.4 dibawah ini.



Gambar 4. 4 *Single line diagram* tipikal 2

Data eksisting koordinasi proteksi tipikal 2 ini diplot menggunakan software ETAP. Pada data eksisting yang diplot hanya rele 9 dan rele 21. Gambar eksisting koordinasi proteksi tipikal 2 dapat dilihat pada Gambar 4.5 dibawah ini.



Gambar 4. 5 Kurva eksisting fasa tipikal 2

Dari hasil plot kurva eksisting fasa tipikal 2 dapat kita lihat terjadi koordinasi proteksi yang kurang baik, karena ketika terjadi Isc minimum 30 cycle pada bus 150-NSO1 mengenai *definite* rele 9 yang mengakibatkan CB yang ada didekat generator dapat *trip* dahulu sehingga aliran daya dari generator dapat terputus. Hal ini tidak boleh terjadi seharusnya Isc minimum 30 cycle pada bus 150-NSO1 mengenai *definite* rele 21 terlebih dahulu. Maka harus dilakukan *resetting* fasa tipikal 2.

Untuk melakukan *resetting* pada tipikal 2 harus dilakukan perhitungan secara manual. Perhitungan manualnya adalah sebagai berikut :

• **CB Outgoing NT-01**

Manufacturer : AEG
Model : ME 2507S
 FLA Sek. Trafo 150-NT01 : 2309 A
 Rating Plug : 2500 A

Long - Time

LT Pickup :

$$1,05 \times \text{FLA sek. trf 150-NT01} < I_{set} < 1,4 \times \text{FLA sek. trf 150-NT01}$$

$$1,05 \times 2309 < I_{set} < 1,4 \times 2309$$

$$2424,45 < I_{set} < 3232,6$$

$$\frac{2424,45}{2500} I_n < \text{Tap} < \frac{3232,6}{2500} I_n$$

$$0,97 I_n < \text{Tap} < 1,29 I_n$$

(range 0,4In, 0,5In, 0,6In, 0,7In, 0,75In, 0,8In, 0,85In, 0,9In, 0,95In, In)

Dipilih Tap = In

Iset = 2500 A

Dipilih LT Band = Class 5

Short - Time

ST Pickup :

$$1,6 \times \text{FLA sek. trf 150-NT01} < I_{>>} < 0,8 \times \text{Isc min. bus 150NM01/A}$$

$$1,6 \times 2309 < I_{>>} < 0,8 \times 28380$$

$$3694,4 < I_{>>} < 22704$$

$$\frac{3694,4}{2500} I_n < \text{Tap} < \frac{22704}{2500} I_n$$

$$1,4 I_n < \text{Tap} < 9,08 I_n$$

(range 1,5In, 2In, 2,5In, 3In, 3,5In, 4In, 5In, 6In, 7In, 8In)

Dipilih Tap = 1,5 In

Iset = 3750 A

Dipilih ST Band = 0,09

• **Rele 21**

<i>Manufacturer</i>	: GE Multilin
<i>Model</i>	: 489
FLA primer trafo 150-NT01	: 140 A
Iscmin 30 cycle bus 150-NT01	: 9,34 kA
<i>Curve Type</i>	: ANSI - <i>Extremely Inverse</i>
<i>CT Ratio</i>	: 200 / 1

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA prim. trf150NT01} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA prim. trf150NT01}$$

$$1,05 \times 140 < \text{Iset} < 1,4 \times 140$$

$$\frac{147}{200} \text{In} < \text{Tap} < \frac{196}{200} \text{In}$$

$$0,74 \text{In} < \text{Tap} < 0,98 \text{In}$$

(range 0,15In - 20In ; step 0,01In)

Dipilih Tap = 0,88 In

Iset = 176 A

Time dial

Dipilih waktu operasi (t) = 0,1 detik

Isc max 4 cycle bus 150-NS01 = 14,91 kA

$$t = \left(0,0399 + \left(\frac{0,2294}{\left(\left(I/I_{pickup} \right)^{-0,5} \right)} + \left(\frac{3,0094}{\left(\left(I/I_{pickup} \right)^{-0,5} \right)^2} + \left(\frac{0,7222}{\left(\left(I/I_{pickup} \right)^{-0,5} \right)^3} \right) \right) \right) * \text{TD}$$

$$t = \left(0,0399 + \left(\frac{0,2294}{((14910/176)-0,5)} + \left(\frac{3,0094}{((14910/176)-0,5)^2} + \left(\frac{0,7222}{((14910/176)-0,5)^3} \right) \right) \right) \right) * TD$$

$$0,1 = (0,0399 + 0,00272 + 0,000424 + 0,00000121) * TD$$

$$TD = \frac{0,1}{0,043045} = 2,32$$

Dipilih time dial = 2,32

Instantaneous Pickup

$$I_{sc \text{ max bus150NM01(A)}} \times \frac{\text{kV sek.}}{\text{kV prim.}} < I_{\gg} < 0,8 \times I_{sc \text{ min bus150NT01}}$$

$$35690 \times \frac{0,4}{6,6} < I_{\gg} < 0,8 \times 9340$$

$$2163,03 < I_{\gg} < 7472$$

$$\frac{2163,03}{200} I_n < \text{Tap} < \frac{7472}{200} I_n$$

$$10,82 I_n < \text{Tap} < 37,36 I_n$$

(range $0,15 I_n - 20 I_n$; step $0,01 I_n$)

Dipilih Tap = $12,5 I_n$

Iset = 2500 A

Time delay

Dipilih Time delay = 0,1 s

• Rele 9

Manufacturer : Siemens

Model : 7SJ512

FLA generator MPG 070-X01 : 765,4 A

Isc min kontribusi generator : 5,06 kA

Curve Type : IEC - *Extremely Inverse*

CT Ratio : 800 / 1

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA generator MPG} < I_{set} < 1,4 \times \text{FLA generator MPG}$$

$$1,05 \times 765,4 < I_{set} < 1,4 \times 765,4$$

$$\frac{803,67}{800} I_n < \text{Tap} < \frac{1071,56}{800} I_n$$

$$1,01 I_n < \text{Tap} < 1,34 I_n$$

(range 0,1In - 4In ; step 0,1In)

Dipilih Tap = 1,1In

Iset = 880 A

Time dial

Dipilih waktu operasi (t) = 0,72 detik

$$t = \left(\frac{80}{\left(\frac{1}{I_{pickup}} \right)^2 - 1} \right) * TD$$

$$0,72 = \left(\frac{80}{\left(\frac{14910}{880} \right)^2 - 1} \right) * TD$$

$$TD = \frac{0,72}{0,2796} = 2,58$$

Dipilih time dial = 2,58

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times \text{FLA} < I_{set} < 0,8 \times \text{Iscmin kntribusi generator MPG}$$

$$1,6 \times 765,4 < I_{set} < 0,8 \times 5060$$

$$1224,64 < I_{set} < 4048$$

$$\frac{1224,64}{800} I_n < \text{Tap} < \frac{4048}{800} I_n$$

$$1,53 I_n < \text{Tap} < 5,06 I_n$$

(range 0,05In – 25In ; step 0,05In)

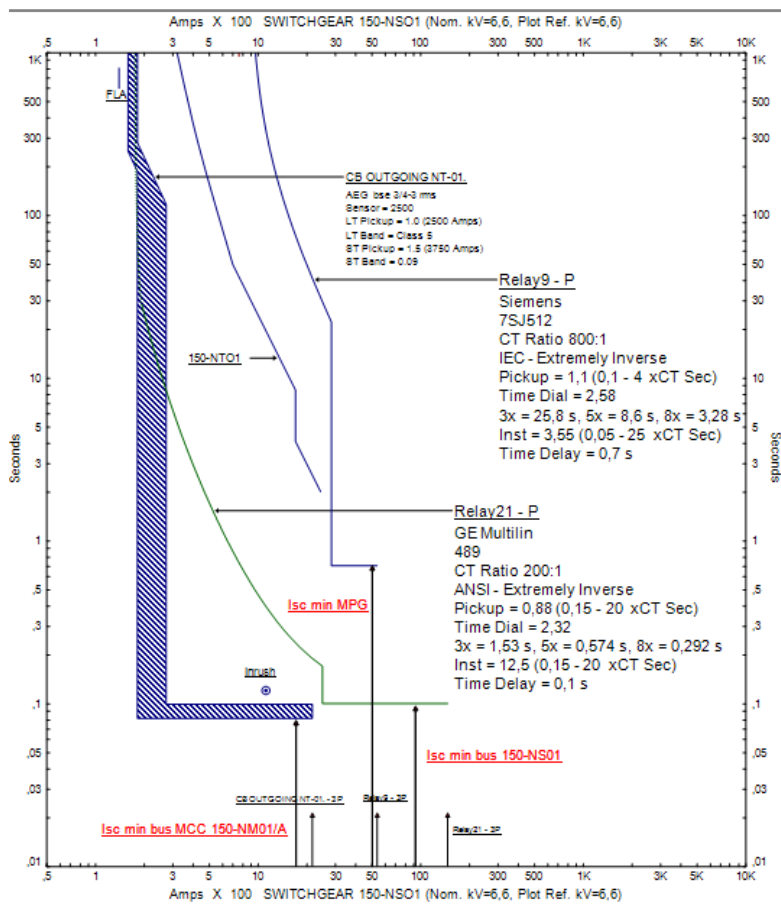
Dipilih Tap = 3,55In

Iset = 2840 A

Time delay

Dipilih Time delay = 0,7 s

Dari perhitungan diatas dapat diplot kurva koordinasi proteksi pada software ETAP. Hasil koordinasi rele dapat dilihat pada Gambar 4.6 dibawah ini:

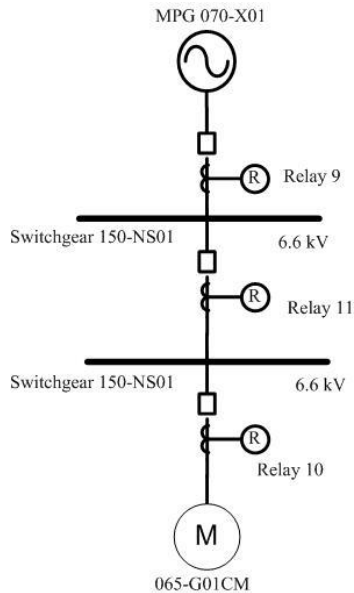


Gambar 4. 6 Kurva *resetting* fasa tipikal 2

Setelah dilakukan *resetting* fasa tipikal 2 yang terlihat pada Gambar 4.6 bahwa setting rele yang kurang tepat sudah dibenahi dan ada penambahan settingan baru LVCB (*low voltage circuit breaker*). *Setting time delay* rele 21 dan rele 9 sudah dibenarkan Sehingga ketika terjadi *Isc* min bus 150-NS01 mengenai *definite* rele 21 terlebih dahulu lalu setelah itu baru rele 9 sebagai *backup*.

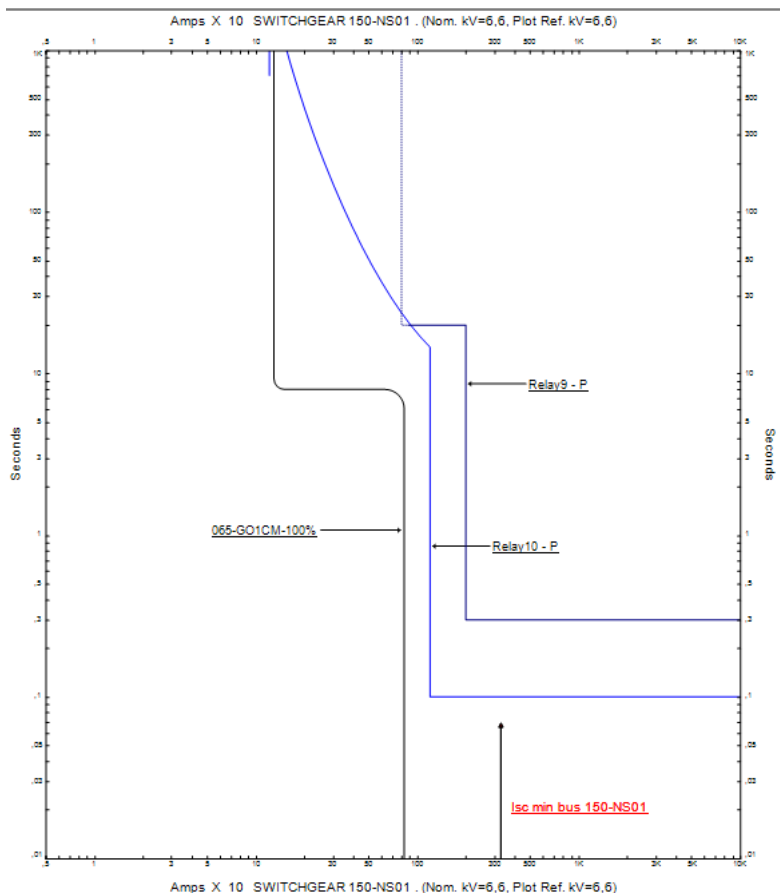
4.4.3 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 3

Koordinasi rele tipikal 3 ini melewati beban motor terbesar dari generator MPG 070-X01 menuju beban motor 065-G01CM yang melewati tie atau penghubung. Rele yang dikoordinasikan adalah rele 10, rele 11, dan rele 9. Gambar *Single line diagram* tipikal 3 dapat dilihat pada Gambar 4.7 dibawah ini.



Gambar 4. 7 *Single line diagram* tipikal 3

Data eksisting koordinasi proteksi tipikal 3 ini diplot menggunakan software ETAP. Pada data eksisting yang diplot hanya rele 10 dan rele 9. Gambar eksisting koordinasi proteksi tipikal 3 dapat dilihat pada Gambar 4.8 dibawah ini.



Gambar 4. 8 Kurva eksisting fasa tipikal 3

Dari hasil kurva eksisting fasa tipikal 3 terlihat bahwa antara rele 10 dan rele 9 saling bersentuhan. Hal ini kurang tepat untuk koordinasi proteksi. *Pick-up low set overcurrent* rele 10 tidak sesuai dengan standar 1,05 FLA – 1,4 FLA. Hal ini tidak boleh terjadi karena saat motor bekerja pada kapasitas maksimumnya atau FLA maka rele akan bekerja dan *setting time delay* generator MPG kurang tepat dan ada penambahan setingan rele 11 pada bus tie penghubung antara PT. KMI dan PT. KDM.

Untuk melakukan *resetting* pada tipikal 3 harus dilakukan perhitungan secara manual. Perhitungan manualnya adalah sebagai berikut :

• **Rele 10**

<i>Manufacturer</i>	: GE Multilin
<i>Model</i>	: 489
FLA Motor 065-G01CM	: 129,6 A
Iscmin 30 cycle bus 150-NS01	: 9,43 kA
<i>Curve Type</i>	: ANSI - <i>Extremely Inverse</i>
<i>CT Ratio</i>	: 150 / 1

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA mtr065G01BM} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA mtr065G01BM}$$

$$1,05 \times 129,6 < \text{Iset} < 1,4 \times 129,6$$

$$\frac{136,08}{150} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{181,44}{150} \text{ In}$$

$$0,9072 \text{ In} < \text{Tap} < 1,2096 \text{ In}$$

(range 0,15In - 20In ; step 0,01In)

Dipilih Tap = 0,91 In

Iset = 136,5 A

Time dial

Dipilih waktu operasi (t) = 9 detik

I_{LRC} motor 065G01BM = 842,4 A

$$t = \left(0,0399 + \left(\frac{0,2294}{\left(\left(I/I_{pickup} \right)^{-0,5} \right)} + \left(\frac{3,0094}{\left(\left(I/I_{pickup} \right)^{-0,5} \right)^2} + \left(\frac{0,7222}{\left(\left(I/I_{pickup} \right)^{-0,5} \right)^3} \right) \right) \right) \right) * \text{TD}$$

$$9 = \left(0,0399 + \left(\frac{0,2294}{\left(\left(842,4 / 136,5 \right) - 0,5 \right)} + \left(\frac{3,0094}{\left(\left(842,4 / 136,5 \right) - 0,5 \right)^2} + \left(\frac{0,7222}{\left(\left(842,4 / 136,5 \right) - 0,5 \right)^3} \right) \right) \right) \right) * TD$$

$$9 = (0,0399 + 0,0404 + 0,0936 + 0,0039) * TD$$

$$TD = \frac{9}{0,1778} = 50,62$$

Dipilih time dial = 50,62

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA < I_{>>} < 0,8 \times I_{scmin} \text{ bus 150-NS01}$$

$$1,6 \times 129,6 < I_{>>} < 0,8 \times 9430$$

$$207,6 < I_{>>} < 7544$$

$$\frac{207,6}{150} I_n < Tap < \frac{7544}{150} I_n$$

$$1,38 I_n < Tap < 50,29 I_n$$

(range 0,15In - 20In ; step 0,01In)

Dipilih Tap = 8In

Iset = 1200 A

Time delay

Dipilih Time delay = 0,1 s

• Rele 11

Manufacturer : GE Multilin

Model : 489

FLA sekunder trafo link to KDM : 349,9 A

Iscmin 30 cycle bus 150-NS01 : 9,43 kA

Curve Type : ANSI - Extremely Inverse

CT Ratio : 400 / 1

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA \text{ sek trf linktoKDM} < I_{set} < 1,4 \times FLA \text{ sek trf linktoKDM}$$

$$1,05 \times 349,9 < I_{set} < 1,4 \times 349,9$$

$$\frac{367,4}{400} I_n < Tap < \frac{489,86}{400} I_n$$

$0,92 I_n < \text{Tap} < 1,22 I_n$
 (range $0,15 I_n - 20 I_n$; step $0,01 I_n$)
 Dipilih Tap = $0,95 I_n$
 $I_{set} = 380 \text{ A}$

Time dial

Dipilih waktu operasi (t) = 0,7 detik
 $I_{sc} \text{ max 4 cycle bus 150-NS01} = 14,91 \text{ kA}$

$$t = \left(0,0399 + \left(\frac{0,2294}{\left(\left(I/I_{pickup} \right)^{-0,5} \right)} + \left(\frac{3,0094}{\left(\left(I/I_{pickup} \right)^{-0,5} \right)^2} + \right. \right. \right. \\
 \left. \left. \left(\frac{0,7222}{\left(\left(I/I_{pickup} \right)^{-0,5} \right)^3} \right) \right) \right) \right) * TD$$

$$0,7 = \left(0,0399 + \left(\frac{0,2294}{\left(\left(14910/380 \right)^{-0,5} \right)} + \left(\frac{3,0094}{\left(\left(14910/380 \right)^{-0,5} \right)^2} + \right. \right. \right. \\
 \left. \left. \left(\frac{0,7222}{\left(\left(14910/380 \right)^{-0,5} \right)^3} \right) \right) \right) \right) * TD$$

$$0,7 = (0,0399 + 0,0059 + 0,0020 + 0,00001) * TD$$

$$TD = \frac{0,7}{0,04781} = 14,64$$

Dipilih time dial = 14,64

Instantaneous Pickup

$$\begin{aligned}
 1,6 \times FLA &< I_{set} < 0,8 \times I_{scmin} \text{ bus 150-NS01} \\
 1,6 \times 349,9 &< I_{set} < 0,8 \times 9430 \\
 559,84 &< I_{set} < 7544 \\
 \frac{559,84}{400} I_n &< \text{Tap} < \frac{7544}{400} I_n \\
 1,4 I_n &< \text{Tap} < 18,86 I_n
 \end{aligned}$$

(range $0,15I_n - 20I_n$; step $0,01I_n$)

Dipilih Tap = $4,8I_n$

Iset = 1920 A

Time delay

Dipilih *Time delay* = 0,3 s

• Rele 9

Manufacturer : Siemens

Model : 7SJ512

FLA generator MPG 070-X01 : 765,4 A

Isc min kontribusi generator : 5,06 kA

Curve Type : IEC - *Extremely Inverse*

CT Ratio : 800 / 1

Time Overcurrent Pickup

$1,05 \times \text{FLA generator MPG} < I_{\text{set}} < 1,4 \times \text{FLA generator MPG}$

$1,05 \times 765,4 < I_{\text{set}} < 1,4 \times 765,4$

$\frac{803,67}{800} I_n < I_{\text{set}} < \frac{1071,56}{800} I_n$

$1,01 I_n < I_{\text{set}} < 1,34 I_n$

(range $0,1I_n - 4I_n$; step $0,1I_n$)

Dipilih Tap = $1,1I_n$

Iset = 880 A

Time dial

Dipilih waktu operasi (t) = 0,72 detik

$$t = \left(\frac{80}{(I/I_{\text{pickup}})^2 - 1} \right) * \text{TD}$$

$$0,72 = \left(\frac{80}{((14910/880)^2 - 1)} \right) * \text{TD}$$

$$\text{TD} = \frac{0,72}{0,2796} = 2,58$$

Dipilih time dial = 2,58

Instantaneous Pickup

$1,6 \times \text{FLA} < I_{\text{set}} < 0,8 \times \text{Iscmin kntribusi generator MPG}$

$1,6 \times 765,4 < I_{\text{set}} < 0,8 \times 5060$

$1224,64 < I_{\text{set}} < 4048$

$$\frac{1224,64}{800} I_n < I_{set} < \frac{4048}{800} I_n$$

$$1,53 I_n < I_{set} < 5,06 I_n$$

(range $0,05I_n - 25I_n$; step $0,05I_n$)

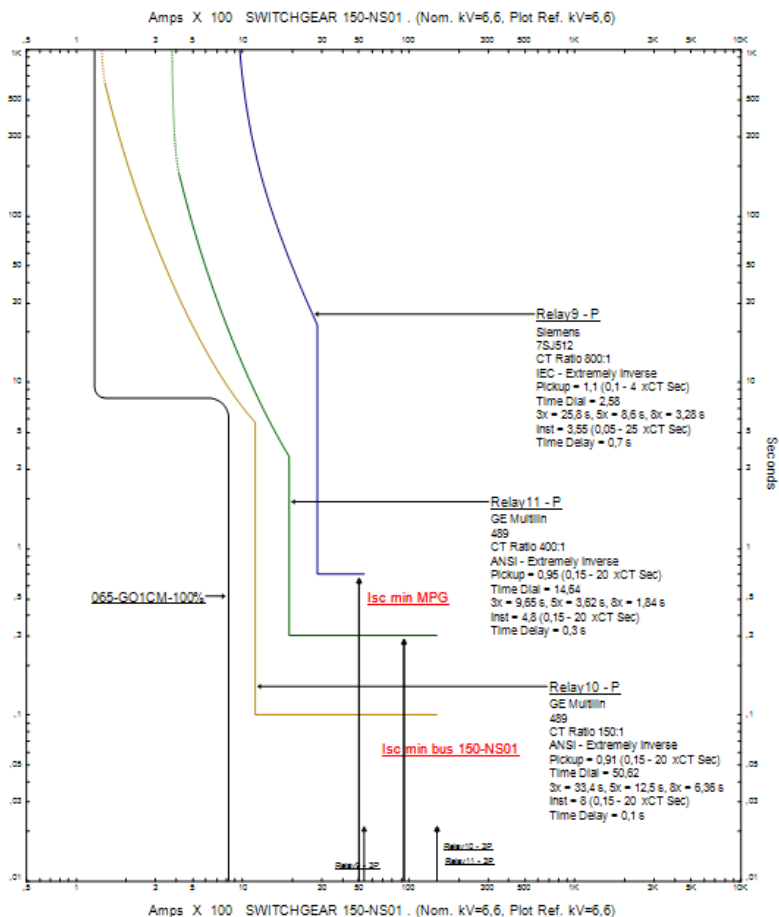
Dipilih Tap = $3,55I_n$

Iset = 2840 A

Time delay

Dipilih *Time delay* = 0,7 s

Dari perhitungan diatas dapat diplot kurva koordinasi proteksi pada software ETAP. Hasil koordinasi rele dapat dilihat pada Gambar 4.9 dibawah ini :

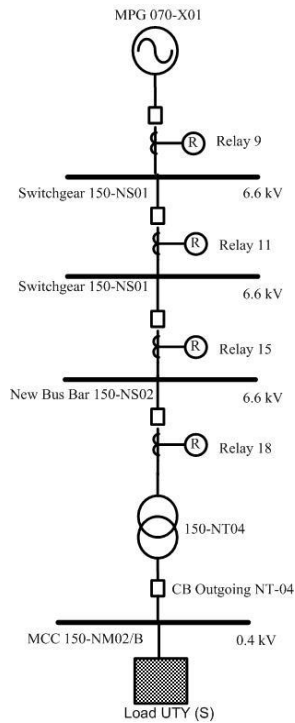


Gambar 4. 9 Kurva *resetting* fasa tipikal 3

Setelah dilakukan *resetting* fasa tipikal 3 pada Gambar 4.9 terlihat untuk rele pengaman yang kurang tepat sudah dibenahi. *Pick-up low set overcurrent* rele 10 sudah sesuai dengan standar 1,05 FLA – 1,4 FLA dan *setting time delay* untuk rele 9 sudah disetting ulang dan ada penambahan settingan rele baru yaitu rele 11.

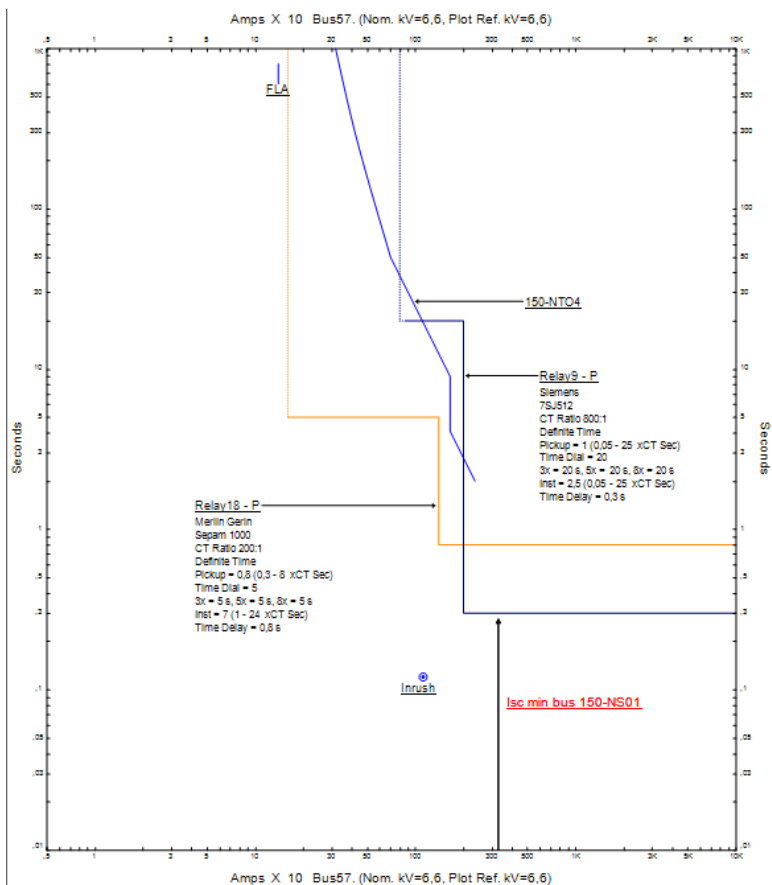
4.4.4 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 4

Tipikal 4 ini merupakan jalur terpanjang dari generator MPG menuju beban load UTY (S) dengan melewati tie atau penghubung antara PT. Kaltim Methanol Industri dan PT. Kaltim Daya Mandiri. Rele yang dikoordinasikan yaitu rele 9, rele 11, rele 15, rele 18, dan CB *outgoing* NT-04. Gambar *Single line diagram* tipikal 4 dapat dilihat pada Gambar 4.10 dibawah ini.



Gambar 4. 10 *Single line diagram* tipikal 4

Data eksisting koordinasi proteksi tipikal 4 ini diplot menggunakan software ETAP. Pada data eksisting yang diplot hanya rele 18 dan rele 9. Gambar eksisting koordinasi proteksi tipikal 3 dapat dilihat pada Gambar 4.11 dibawah ini.



Gambar 4. 11 Kurva eksisting fasa tipikal 4

Terlihat pada Gambar 4.11 kurva eksisting fasa tipikal 4, terdapat kesalahan *setting time delay* pada rele 9 dan rele 18 karena ketika terjadi *Isc minimum* bus 150-NS01 terkena rele 9 terlebih dahulu, maka perlu dilakukan *resetting* koordinasi proteksi fasa tipikal 4.

Untuk melakukan *resetting* pada tipikal 4 harus dilakukan perhitungan secara manual. Perhitungan manualnya adalah sebagai berikut:

• **CB Outgoing NT-04**

Manufacturer : AEG
Model : ME 2507S
 FLA Sek. Trafo 150-NT04 : 2309 A
 Rating Plug : 2500 A

Long - Time

LT Pickup :

$$1,05x \text{ FLA sek. trf 150-NT04} < I_{\text{set}} < 1,4x \text{ FLA sek. trf 150-NT04}$$

$$1,05 \times 2309 < I_{\text{set}} < 1,4 \times 2309$$

$$2424,45 < I_{\text{set}} < 3232,6$$

$$\frac{2424,45}{2500} I_n < I_{\text{set}} < \frac{3232,6}{2500} I_n$$

$$0,97 I_n < I_{\text{set}} < 1,29 I_n$$

(range 0,4In, 0,5In, 0,6In, 0,7In, 0,75In, 0,8In, 0,85In, 0,9In, 0,95In, In)

Dipilih Tap = In

Iset = 2500 A

Dipilih LT Band = Class 5

Short - Time

ST Pickup :

$$1,6x \text{ FLA sek. trf 150-NT04} < I_{\text{set}} < 0,8x \text{ Isc min.bus 150NM02/B}$$

$$1,6 \times 2309 < I_{\text{set}} < 0,8 \times 28380$$

$$3694,4 < I_{\text{set}} < 22704$$

$$\frac{3694,4}{2500} I_n < I_{\text{set}} < \frac{22704}{2500} I_n$$

$$1,4 I_n < I_{\text{set}} < 9,08 I_n$$

(range 1,5In, 2In, 2,5In, 3In, 3,5In, 4In, 5In, 6In, 7In, 8In)

Dipilih Tap = 1,5 In

Iset = 3750 A

Dipilih ST Band = 0,09

• **Rele 18**

Manufacturer : Merlin Gerlin
Model : Sepam 1000
 FLA primer trafo 150-NT04 : 140 A
 Isc min bus150-NT04 : 9,34 kA
Curve Type : *Extremely Inverse*
CT Ratio : 200 / 1

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA prim. trf150NT04} < I_{\text{set}} < 1,4 \times \text{FLA prim. trf150NT04}$$

$$1,05 \times 140 < I_{\text{set}} < 1,4 \times 140$$

$$\frac{147}{200} I_n < I_{\text{set}} < \frac{196}{200} I_n$$

$$0,74 I_n < I_{\text{set}} < 0,98 I_n$$

(range $0,3I_n - 2,4I_n$; step $0,05I_n$)

Dipilih Tap = $0,85 I_n$

$I_{\text{set}} = 170 \text{ A}$

Time dial

Dipilih waktu operasi (t) = 0,14 detik

$$t = \left(\frac{80}{\left(\frac{I}{I_{\text{pickup}}} \right)^2 - 1} \right) \frac{\text{TD}}{0,808}$$

$$0,14 = \left(\frac{80}{\left(\frac{2500}{170} \right)^2 - 1} \right) \frac{\text{TD}}{0,808}$$

$$\text{TD} = \frac{0,14}{0,4599} = 0,3$$

Dipilih time dial = 0,3

Instantaneous Pickup

$$\text{Iscmax bus 150NM02(B)} \times \frac{\text{kV sek.}}{\text{kV prim.}} < I_{\text{set}} < 0,8 \times \text{Iscmin bus 150NT04}$$

$$33500 \times \frac{0,4}{6,6} < I_{\text{set}} < 0,8 \times 9340$$

$$2030,3 < I_{\text{set}} < 7472$$

$$\frac{2030,3}{200} I_n < I_{\text{set}} < \frac{7472}{200} I_n$$

$$10,15 I_n < I_{\text{set}} < 37,36 I_n$$

(range $I_n - 24I_n$; step $0,1I_n$)

Dipilih Tap = $12,5I_n$

$I_{\text{set}} = 2500 \text{ A}$

Time delay

Dipilih Time delay = 0,1 s

• **Rele 15**

<i>Manufacturer</i>	: GE Multilin
<i>Model</i>	: 489
FLA sekunder trafo link to KDM	: 349,9 A
Iscmin 30 cycle bus 150-NS01	: 9,43 kA
<i>Curve Type</i>	: ANSI - <i>Extremely Inverse</i>
<i>CT Ratio</i>	: 400 / 1

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA sek trf linktoKDM} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA sek trf linktoKDM}$$

$$1,05 \times 349,9 < \text{Iset} < 1,4 \times 349,9$$

$$\frac{367,4}{400} \text{In} < \text{Iset} < \frac{489,86}{400} \text{In}$$

$$0,92 \text{In} < \text{Iset} < 1,22 \text{In}$$

(range 0,15In - 20In ; step 0,01In)

Dipilih Tap = 0,95 In

Iset = 380 A

Time dial

Dipilih waktu operasi (t) = 1,1 detik

Isc max 4 cycle bus 150-NS01 = 14,91 kA

$$t = \left(0,0399 + \left(\frac{0,2294}{\left(\left(I/I_{pickup} \right)^{-0,5} \right)} + \left(\frac{3,0094}{\left(\left(I/I_{pickup} \right)^{-0,5} \right)^2} + \left(\frac{0,7222}{\left(\left(I/I_{pickup} \right)^{-0,5} \right)^3} \right) \right) \right) * \text{TD}$$

$$1,1 = \left(0,0399 + \left(\frac{0,2294}{((14910/380)-0,5)} + \left(\frac{3,0094}{((14910/380)-0,5)^2} + \left(\frac{0,7222}{((14910/380)-0,5)^3} \right) \right) \right) \right) * TD$$

$$1,1 = (0,0399 + 0,0059 + 0,0020 + 0,00001) * TD$$

$$TD = \frac{1,1}{0,04781} = 23$$

Dipilih time dial = 23

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA < I_{set} < 0,8 \times I_{scmin} \text{ bus 150-NS01}$$

$$1,6 \times 349,9 < I_{set} < 0,8 \times 9430$$

$$559,84 < I_{set} < 7544$$

$$\frac{559,84}{400} I_n < I_{set} < \frac{7544}{400} I_n$$

$$1,4 I_n < I_{set} < 18,86 I_n$$

(range $0,15 I_n - 20 I_n$; step $0,01 I_n$)

Dipilih Tap = $4,8 I_n$

Iset = 1920 A

Time delay

Dipilih Time delay = 0,3 s

• Rele 11

Manufacturer : GE Multilin

Model : 489

FLA sekunder trafo link to KDM : 349,9 A

Iscmin 30 cycle bus 150-NS01 : 9,43 kA

Curve Type : ANSI - Extremely Inverse

CT Ratio : 400 / 1

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA \text{ sek trf linktoKDM} < I_{set} < 1,4 \times FLA \text{ sek trf linktoKDM}$$

$$1,05 \times 349,9 < I_{set} < 1,4 \times 349,9$$

$$\frac{367,4}{400} I_n < I_{set} < \frac{489,86}{400} I_n$$

$0,92 I_n < I_{set} < 1,22 I_n$
 (range $0,15 I_n - 20 I_n$; step $0,01 I_n$)
 Dipilih Tap = $0,95 I_n$
 $I_{set} = 380 \text{ A}$

Time dial

Dipilih waktu operasi (t) = 0,7 detik
 $I_{sc} \text{ max 4 cycle bus 150-NS01} = 14,91 \text{ kA}$

$$\begin{aligned}
 t = & \left(0,0399 + \left(\frac{0,2294}{\left(\left(I/I_{pickup} \right)^{-0,5} \right)} + \left(\frac{3,0094}{\left(\left(I/I_{pickup} \right)^{-0,5} \right)^2} + \right. \right. \\
 & \left. \left. \left(\frac{0,7222}{\left(\left(I/I_{pickup} \right)^{-0,5} \right)^3} \right) \right) \right) \right) * TD \\
 0,7 = & \left(0,0399 + \left(\frac{0,2294}{\left(\left(14910/380 \right)^{-0,5} \right)} + \left(\frac{3,0094}{\left(\left(14910/380 \right)^{-0,5} \right)^2} + \right. \right. \\
 & \left. \left. \left(\frac{0,7222}{\left(\left(14910/380 \right)^{-0,5} \right)^3} \right) \right) \right) \right) * TD
 \end{aligned}$$

$$0,7 = (0,0399 + 0,0059 + 0,0020 + 0,00001) * TD$$

$$TD = \frac{0,7}{0,04781} = 14,64$$

Dipilih time dial = 14,64

Instantaneous Pickup

$$\begin{aligned}
 1,6 \times FLA & < I_{set} < 0,8 \times I_{scmin} \text{ bus 150-NS01} \\
 1,6 \times 349,9 & < I_{set} < 0,8 \times 9430 \\
 559,84 & < I_{set} < 7544 \\
 \frac{559,84}{400} I_n & < I_{set} < \frac{7544}{400} I_n \\
 1,4 I_n & < I_{set} < 18,86 I_n
 \end{aligned}$$

(range $0,15I_n - 20I_n$; step $0,01I_n$)

Dipilih Tap = $4,8I_n$

Iset = 1920 A

Time delay

Dipilih *Time delay* = 0,3 s

• Rele 9

Manufacturer : Siemens

Model : 7SJ512

FLA generator MPG 070-X01 : 765,4 A

Isc min kontribusi generator : 5,06 kA

Curve Type : IEC - *Extremely Inverse*

CT Ratio : 800 / 1

Time Overcurrent Pickup

$1,05 \times \text{FLA generator MPG} < I_{\text{set}} < 1,4 \times \text{FLA generator MPG}$

$1,05 \times 765,4 < I_{\text{set}} < 1,4 \times 765,4$

$\frac{803,67}{800} I_n < I_{\text{set}} < \frac{1071,56}{800} I_n$

$1,01 I_n < I_{\text{set}} < 1,34 I_n$

(range $0,1I_n - 4I_n$; step $0,1I_n$)

Dipilih Tap = $1,1I_n$

Iset = 880 A

Time dial

Dipilih waktu operasi (t) = 0,72 detik

$$t = \left(\frac{80}{(I/I_{\text{pickup}})^2 - 1} \right) * \text{TD}$$

$$0,72 = \left(\frac{80}{((14910/880)^2 - 1)} \right) * \text{TD}$$

$$\text{TD} = \frac{0,72}{0,2796} = 2,58$$

Dipilih time dial = 2,58

Instantaneous Pickup

$1,6 \times \text{FLA} < I_{\text{set}} < 0,8 \times \text{Iscmin kntribusi generator MPG}$

$1,6 \times 765,4 < I_{\text{set}} < 0,8 \times 5060$

$1224,64 < I_{\text{set}} < 4048$

$$\frac{1224,64}{800} I_n < I_{set} < \frac{4048}{800} I_n$$

$$1,53 I_n < I_{set} < 5,06 I_n$$

(range $0,05I_n - 25I_n$; step $0,05I_n$)

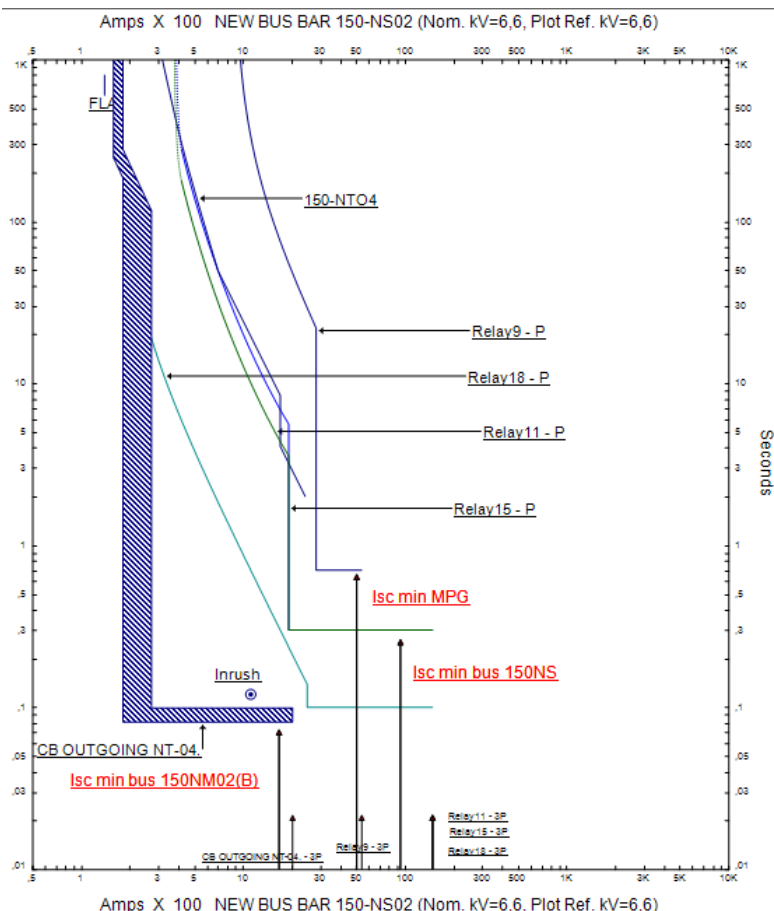
Dipilih Tap = $3,55I_n$

Iset = 2840 A

Time delay

Dipilih *Time delay* = 0,7 s

Dari perhitungan diatas dapat diplot kurva koordinasi proteksi pada software ETAP. Hasil koordinasi rele dapat dilihat pada Gambar 4.12 dibawah ini :

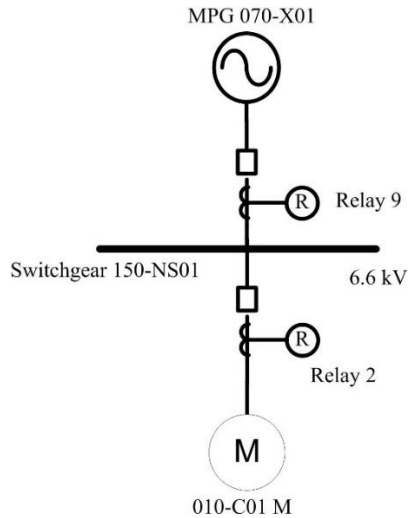


Gambar 4. 12 Kurva *resetting* fasa tipikal 4

Setelah dilakukan *resetting* fasa tipikal 4 pada Gambar 4.12 terlihat bahwa koordinasi yang kurang tepat antara rele 9 dan rele 18 telah disetting ulang sehingga sudah tepat dan ada penambahan *setting* rele 11, rele 15, dan settingan baru LVCB (*low voltage circuit breaker*) yang sudah dikoordinasikan dengan tepat.

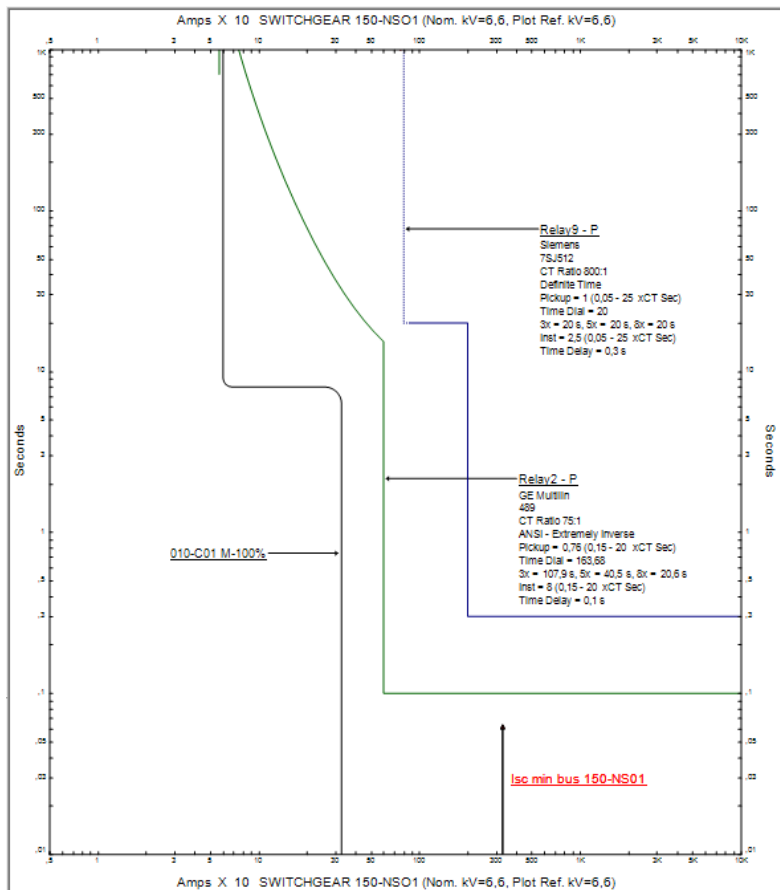
4.4.5 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 5

Tipikal 5 ini merupakan koordinasi pengamanan dari MPG menuju beban motor 010-C01 M. Merupakan beban motor yang terdekat dan besar dengan generator MPG. Rele yang dikoordinasikan adalah rele 2 dan rele 9. Gambar *Single line diagram* tipikal 5 dapat dilihat pada Gambar 4.13 dibawah ini.



Gambar 4. 13 *Single line diagram* tipikal 5

Data eksisting koordinasi proteksi tipikal 5 ini diplot menggunakan software ETAP. Pada data eksisting yang diplot rele 2 dan rele 9. Gambar eksisting koordinasi proteksi tipikal 5 dapat dilihat pada Gambar 4.14 dibawah ini.



Gambar 4. 14 Kurva eksisting fasa tipikal 5

Dari hasil kurva eksisting fasa tipikal 5 terlihat bahwa *Pick-up low set overcurrent* rele 2 tidak sesuai dengan standar 1,05 FLA – 1,4 FLA. Hal ini tidak boleh terjadi karena saat motor bekerja pada kapasitas maksimumnya atau FLA maka rele akan bekerja dan *setting time delay* rele 9 kurang tepat.

Untuk melakukan *resetting* pada tipikal 5 harus dilakukan perhitungan secara manual. Perhitungan manualnya adalah sebagai berikut :

• **Rele 2**

<i>Manufacturer</i>	: GE Multilin
<i>Model</i>	: 489
FLA Motor 010-C01M	: 60,24 A
Iscmin 30 cycle bus 150-NS01	: 9,43 kA
<i>Curve Type</i>	: ANSI - <i>Extremely Inverse</i>
<i>CT Ratio</i>	: 75 / 1

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA mtr010C01M} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA mtr010C01M}$$

$$1,05 \times 60,24 < \text{Iset} < 1,4 \times 60,24$$

$$\frac{63,25}{75} \text{In} < \text{Tap} < \frac{84,34}{75} \text{In}$$

$$0,84 \text{In} < \text{Tap} < 1,12 \text{In}$$

(range 0,15In - 20In ; step 0,01In)

Dipilih Tap = 0,85 In

Iset = 63,75 A

Time dial

Dipilih waktu operasi (t) = 10 detik

I_{LRC} motor 065G01BM = 331,32 A

$$t = \left(0,0399 + \left(\frac{0,2294}{\left(\left(I/I_{pickup} \right)^{-0,5} \right)} + \left(\frac{3,0094}{\left(\left(I/I_{pickup} \right)^{-0,5} \right)^2} + \left(\frac{0,7222}{\left(\left(I/I_{pickup} \right)^{-0,5} \right)^3} \right) \right) \right) * \text{TD}$$

$$10 = \left(0,0399 + \left(\frac{0,2294}{\left(\left(331,32 / 63,75 \right) - 0,5 \right)} + \left(\frac{3,0094}{\left(\left(331,32 / 63,75 \right) - 0,5 \right)^2} + \left(\frac{0,7222}{\left(\left(331,32 / 63,75 \right) - 0,5 \right)^3} \right) \right) \right) \right) * TD$$

$$10 = (0,0399 + 0,0488 + 0,136 + 0,0069) * TD$$

$$TD = \frac{10}{0,2316} = 43,18$$

Dipilih time dial = 43,18

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA < I_{>>} < 0,8 \times I_{scmin} \text{ bus 150-NS01}$$

$$1,6 \times 60,24 < I_{>>} < 0,8 \times 9430$$

$$96,38 < I_{>>} < 7544$$

$$\frac{207,6}{75} I_n < Tap < \frac{7544}{75} I_n$$

$$2,77 I_n < Tap < 100,59 I_n$$

(range $0,15 I_n - 20 I_n$; step $0,01 I_n$)

Dipilih Tap = $8 I_n$

Iset = 600 A

Time delay

Dipilih Time delay = 0,1 s

• Rele 9

Manufacturer : Siemens

Model : 7SJ512

FLA generator MPG 070-X01 : 765,4 A

Isc min kontribusi generator : 5,06 kA

Curve Type : IEC - *Extremely Inverse*

CT Ratio : 800 / 1

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA \text{ generator MPG} < I_{set} < 1,4 \times FLA \text{ generator MPG}$$

$$1,05 \times 765,4 < I_{set} < 1,4 \times 765,4$$

$$\frac{803,67}{800} I_n < Tap < \frac{1071,56}{800} I_n$$

$1,01 \text{ In} < \text{Tap} < 1,34 \text{ In}$
 (range $0,1\text{In} - 4\text{In}$; step $0,1\text{In}$)
 Dipilih Tap = $1,1\text{In}$
 $I_{\text{set}} = 880 \text{ A}$

Time dial

Dipilih waktu operasi (t) = 0,72 detik

$$t = \left(\frac{80}{\left(\frac{I}{I_{\text{pickup}}} \right)^2 - 1} \right) * \text{TD}$$

$$0,72 = \left(\frac{80}{\left(\frac{14910}{880} \right)^2 - 1} \right) * \text{TD}$$

$$\text{TD} = \frac{0,72}{0,2796} = 2,58$$
 Dipilih time dial = 2,58

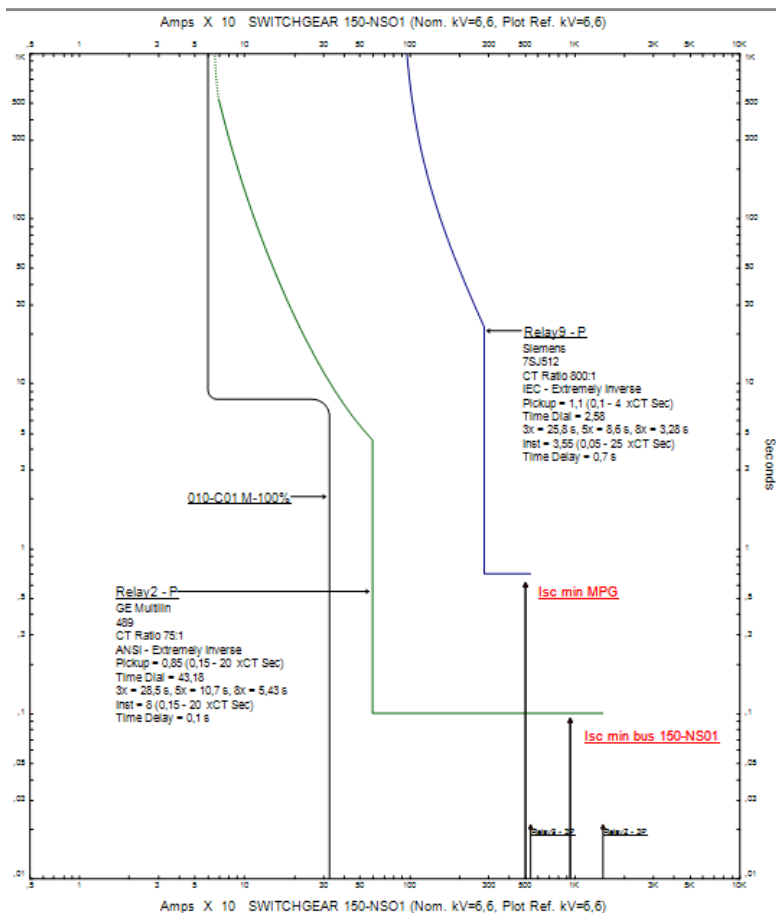
Instantaneous Pickup

$1,6 \times \text{FLA} < I_{\text{set}} < 0,8 \times I_{\text{scmin kntribusi generator MPG}}$
 $1,6 \times 765,4 < I_{\text{set}} < 0,8 \times 5060$
 $1224,64 < I_{\text{set}} < 4048$
 $\frac{1224,64}{800} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{4048}{800} \text{ In}$
 $1,53 \text{ In} < \text{Tap} < 5,06 \text{ In}$
 (range $0,05\text{In} - 25\text{In}$; step $0,05\text{In}$)
 Dipilih Tap = $3,55\text{In}$
 $I_{\text{set}} = 2840 \text{ A}$

Time delay

Dipilih Time delay = 0,7 s

Dari perhitungan diatas dapat diplot kurva koordinasi proteksi pada software ETAP. Hasil koordinasi rele dapat dilihat pada Gambar 4.15 dibawah ini :



Gambar 4. 15 Kurva *resetting* fasa tipikal 5

Setelah dilakukan *resetting* fasa tipikal 5 pada Gambar 4.15 terlihat untuk rele pengaman yang kurang tepat sudah dibenahi. *Pick-up low set overcurrent* rele 2 sudah sesuai dengan standar 1,05 FLA – 1,4 FLA dan *setting time delay* untuk rele 9 sudah disetting ulang.

4.5 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan ke Tanah

Rele arus lebih gangguan tanah digunakan untuk mengatasi gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah. Koordinasi rele arus lebih gangguan satu fasa ini sangat dipengaruhi oleh pemasangan NGR karena arus hubung singkat ketanah terbesar adalah sama dengan NGR yang dipasang, koordinasi arus lebih gangguan satu fasa ini juga dipengaruhi dengan *setting time delay* dan kurva yang digunakan adalah kurva *definite time* atau *instantaneous pickup*.

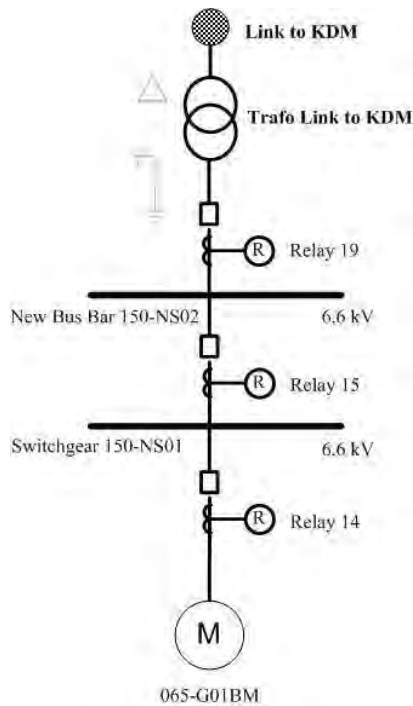
Sistem kelistrikan pada PT. Kaltim Methanol Industri adalah radial dengan tiga level tegangan yaitu 11 kV, 6,6 kV dan 0,4 kV. Pentanahan yang digunakan adalah seperti pada Tabel 4.3 dibawah ini.

Tabel 4. 3 Tegangan dan Pentanahan Peralatan

No	Peralatan	Rating Tegangan	Hubungan Belitan	Pentanahan
1	Generator MPG 070-X01	6,6 kV	Bintang	NGR 200 A
2	Transformator Link to KDM	11/6,6 kV	Delta-Bintang	NGR 200 A
3	Transformator 150-NT01	6,6/0,4kV	Delta-Bintang	Solid
4	Transformator 150-NT02	6,6/0,4kV	Delta-Bintang	Solid
5	Transformator 150-NT03	6,6/0,4kV	Delta-Bintang	Solid
6	Transformator 150-NT04	6,6/0,4kV	Delta-Bintang	Solid
7	Transformator 150-NT05	6,6/0,4kV	Delta-Bintang	Solid

4.5.1 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan ke Tanah Tipikal 1

Koordinasi rele arus lebih gangguan ke tanah tipikal 1 ini dimulai dari trafo link to KDM sampai beban motor 065-G01BM. Rele yang dikoordinasikan yaitu rele 14, rele 15, dan rele 19. Gambar single line diagram gangguan fasa ke tanah dapat dilihat pada Gambar 4.16.



Gambar 4. 16 *Single line diagram* tipikal 1 gangguan fasa ke tanah

Tipikal 1 ini merupakan sambungan integrasi antara PT. KDM dan PT. KMI yang baru sehingga tidak ada data eksisting untuk gangguan fasa ke tanah, untuk tipikal 1 ini maka perlu dilakukan setting dari awal. Rele yang disetting adalah rele 14, rele 15, dan rele 19.

Berikut ini merupakan perhitungan rele – rele yang akan disetting dan parameter dari masing – masing rele di tipikal 1.

• Rele 14

<i>Manufacturer</i>	: GE Multilin
<i>Model</i>	: 489
<i>Isc L-G</i>	: 400 A
<i>CT Ratio</i>	: 60 / 1

Instantaneous Pickup

$$10\% \times I_{sc} \text{ L-G} \leq I_{set} \leq 50\% \times I_{sc} \text{ L-G}$$

$$10\% \times 400 < I_{set} < 50\% \times 400$$

$$40 < I_{set} < 200$$

$$\frac{40}{60} I_n < \text{Tap} < \frac{200}{60} I_n$$

$$0,67 I_n < \text{Tap} < 3,33 I_n$$

(range 0,05In sampai 20In, dengan step 0,01In)

Dipilih tap = 0,7 In

Iset = 42 A

Time Delay

Dipilih time delay = 0,1 s

• **Rele 15**

Manufacturer : GE Multilin

Model : 489

Isc L-G : 400 A

CT Ratio : 60 / 1

Instantaneous Pickup

$$10\% \times I_{sc} \text{ L-G} \leq I_{set} \leq 50\% \times I_{sc} \text{ L-G}$$

$$10\% \times 400 < I_{set} < 50\% \times 400$$

$$40 < I_{set} < 200$$

$$\frac{40}{60} I_n < \text{Tap} < \frac{200}{60} I_n$$

$$0,67 I_n < \text{Tap} < 3,33 I_n$$

(range 0,05In sampai 20In, dengan step 0,01In)

Dipilih tap = 0,7 In

Iset = 42 A

Time Delay

Dipilih time delay = 0,3 s

• **Rele 19**

Manufacturer : Merlin Gerlin

Model : Sepam 1000

Isc L-G : 200 A

CT Ratio : 60 / 1

Instantaneous Pickup

$$10\% \times I_{sc} \text{ L-G} \leq I_{set} \leq 50\% \times I_{sc} \text{ L-G}$$

$$10\% \times 200 < I_{set} < 50\% \times 200$$

$$20 < I_{set} < 100$$

$$\frac{20}{60} I_n < \text{Tap} < \frac{100}{60} I_n$$

$$0,33 I_n < \text{Tap} < 1,67 I_n$$

(range $0,05I_n$ sampai $2I_n$, dengan step $0,05I_n$)

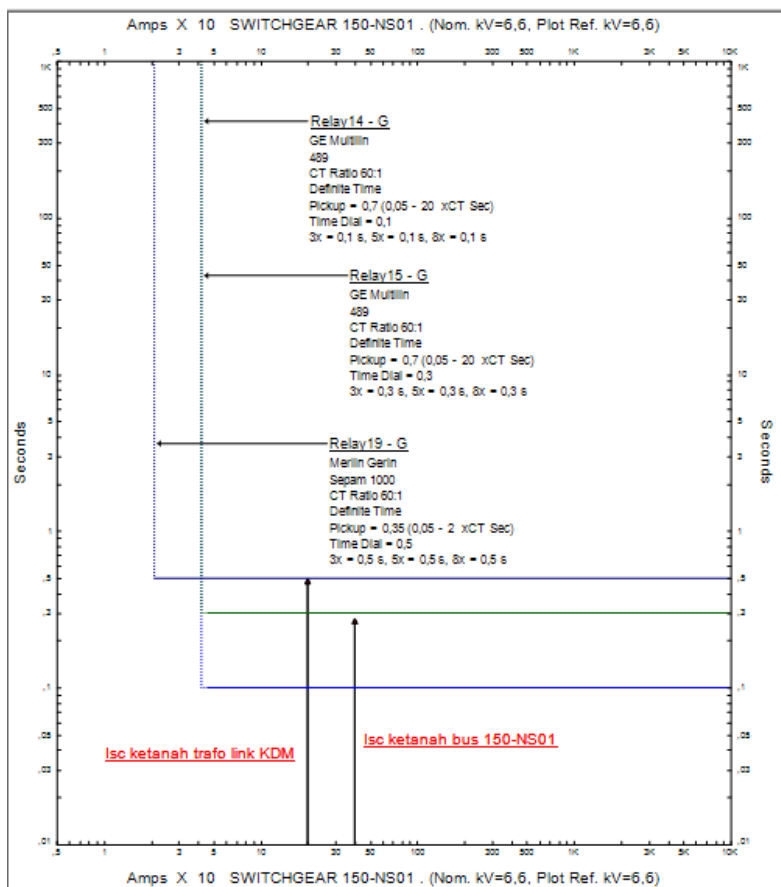
Dipilih tap = $0,35 I_n$

$I_{set} = 21 \text{ A}$

Time Delay

Dipilih *time delay* = 0,5 s

Dari perhitungan diatas dapat diplot kurva koordinasi proteksi pada software ETAP. Hasil koordinasi rele dapat dilihat pada Gambar 4.17 dibawah ini :

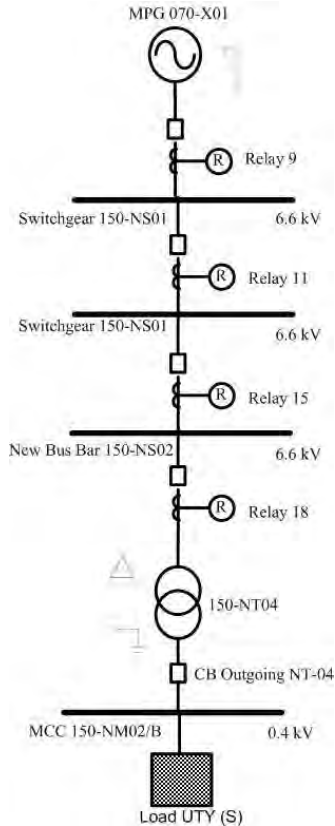


Gambar 4. 17 Kurva gangguan satu fasa ke tanah tipikal 1

Setelah dilakukan koordinasi proteksi untuk gangguan satu fasa ke tanah tipikal 1 pada Gambar 4.17 terlihat bahwa apabila ada gangguan satu fasa ketanah sudah dapat diatasi.

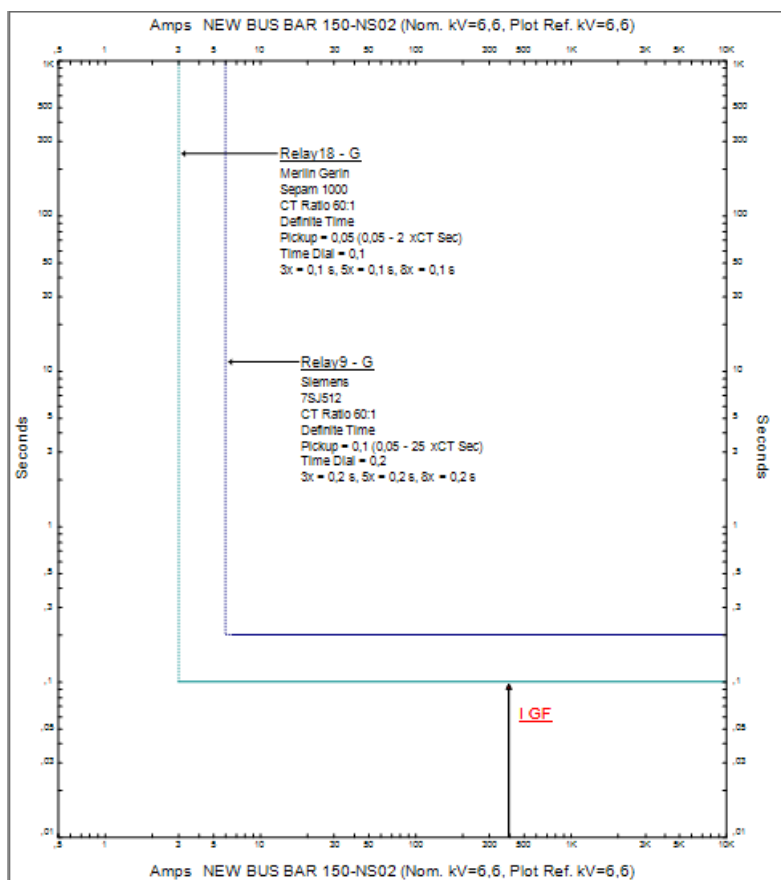
4.5.2 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan ke Tanah Tipikal 4

Koordinasi gangguan fasa ke tanah tipikal 4 ini merupakan koordinasi pengaman dari generator MPG 070-X01 sampai beban *load* UTY (S). Rele yang dikoordinasikan adalah rele 9, rele 11, rele 15, dan rele 18. Gambar tipikal 4 ini bisa dilihat pada Gambar 4.18 dibawah ini.



Gambar 4. 18 *Single line diagram* tipikal 4 gangguan fasa ke tanah

Data eksisting koordinasi proteksi gangguan fasa ke tanah tipikal 4 ini diplot menggunakan software ETAP. Pada data eksisting yang diplot rele 18 dan rele 9. Gambar eksisting koordinasi proteksi gangguan fasa ke tanah tipikal 4 dapat dilihat pada Gambar 4.19 dibawah ini.



Gambar 4. 19 Kurva eksisting gangguan fasa ke tanah tipikal 4

Dari hasil plot kurva eksisting gangguan fasa ke tanah tipikal 4 pada Gambar 4.19 dapat kita lihat bahwa koordinasi kurva proteksi ini kurang baik, karena ada penambahan rele 15 dan rele 11 sehingga diperlukan *resetting* ulang untuk memperbaiki koordinasi rele tersebut.

Untuk melakukan *resetting* pada tipikal 4 ini diperlukan perhitungan secara manual terlebih dahulu. Perhitungan manual adalah sebagai berikut:

• **Rele 18**

Manufacturer : Merlin Gerlin
Model : Sepam 1000
Isc L-G : 400 A
CT Ratio : 60 / 1

Instantaneous Pickup

$$10\% \times I_{sc} L-G \leq I_{set} \leq 50\% \times I_{sc} L-G$$

$$10\% \times 400 < I_{set} < 50\% \times 400$$

$$40 < I_{set} < 200$$

$$\frac{40}{60} I_n < \text{Tap} < \frac{200}{60} I_n$$

$$0,67 I_n < \text{Tap} < 3,33 I_n$$

(range 0,05In sampai 2In, dengan step 0,05In)

Dipilih tap = 0,7 In

Iset = 42 A

Time Delay

Dipilih *time delay* = 0,1 s

• **Rele 15**

Manufacturer : GE Multilin
Model : 489
Isc L-G : 400 A
CT Ratio : 60 / 1

Instantaneous Pickup

$$10\% \times I_{sc} L-G \leq I_{set} \leq 50\% \times I_{sc} L-G$$

$$10\% \times 400 < I_{set} < 50\% \times 400$$

$$40 < I_{set} < 200$$

$$\frac{40}{60} I_n < \text{Tap} < \frac{200}{60} I_n$$

$$0,67 I_n < \text{Tap} < 3,33 I_n$$

(range 0,05In sampai 20In, dengan step 0,01In)

Dipilih tap = 0,7 In

Iset = 42 A

Time Delay

Dipilih *time delay* = 0,3 s

• **Rele 11**

Manufacturer : GE Multilin
Model : 489
Isc L-G : 400 A
CT Ratio : 60 / 1

Instantaneous Pickup

$$10\% \times \text{Isc L-G} \leq \text{Iset} \leq 50\% \times \text{Isc L-G}$$

$$10\% \times 400 < \text{Iset} < 50\% \times 400$$

$$40 < \text{Iset} < 200$$

$$\frac{40}{60} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{200}{60} \text{ In}$$

$$0,67 \text{ In} < \text{Tap} < 3,33 \text{ In}$$

(range 0,05In sampai 20In, dengan step 0,01In)

Dipilih tap = 0,7 In

Iset = 42 A

Time Delay

Dipilih *time delay* = 0,3 s

• **Rele 9**

Manufacturer : Siemens
Model : 7SJ512
Isc L-G : 200 A
CT Ratio : 60 / 1

Instantaneous Pickup

$$10\% \times \text{Isc L-G} \leq \text{Iset} \leq 50\% \times \text{Isc L-G}$$

$$10\% \times 200 < \text{Iset} < 50\% \times 200$$

$$20 < \text{Iset} < 100$$

$$\frac{20}{60} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{100}{60} \text{ In}$$

$$0,33 \text{ In} < \text{Tap} < 1,67 \text{ In}$$

(range 0,05In sampai 25In, dengan step 0,05In)

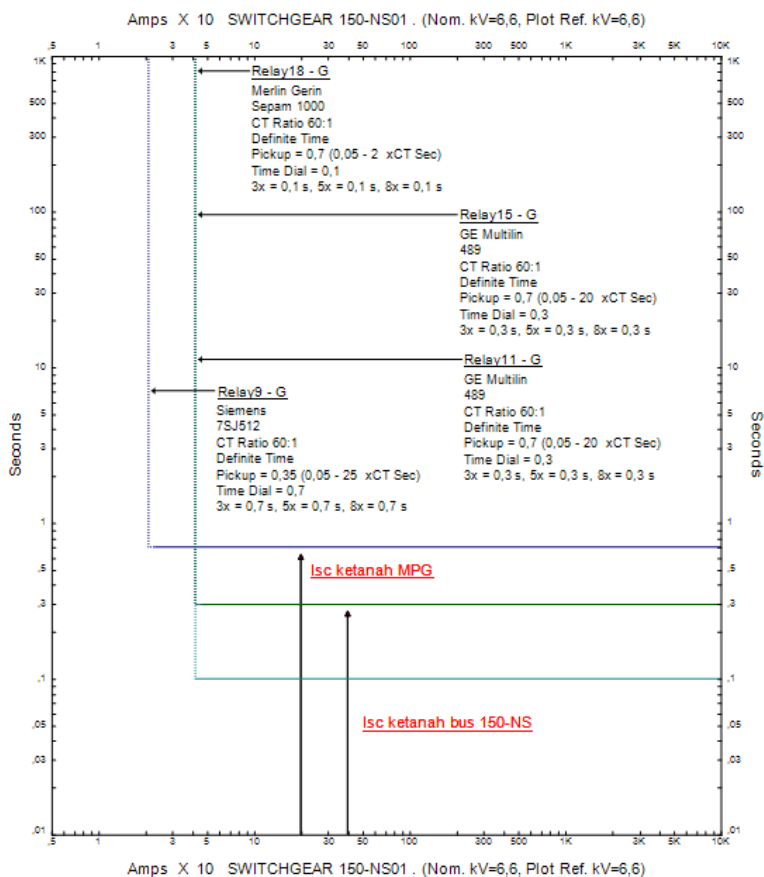
Dipilih tap = 0,35 In

Iset = 21 A

Time Delay

Dipilih *time delay* = 0,7 s

Dari perhitungan diatas dapat diplot kurva koordinasi proteksi pada software ETAP. Hasil koordinasi rele dapat dilihat pada Gambar 4.20 dibawah ini :



Gambar 4. 20 Kurva *resetting* gangguan fasa ke tanah tipikal 4

Setelah dilakukan *resetting* gangguan fasa ketanah tipikal 4 pada Gambar 4.20 dapat dilihat *setting* kurva yang kurang tepat sudah dibenahi. *Time delay* atau *time dial* pada kurva *definite time* rele 9 sudah disetting

ulang dan ada penambahan settingan baru untuk gangguan fasa ke tanah untuk rele 15 dan rele 11.

4.6 Analisis Kestabilan Transien

Pada sistem kelistrikan industri perlu dilakukan analisis kestabilan transien. Tujuannya utamanya adalah untuk mendapatkan tindakan yang tepat ketika terjadi gangguan pada sistem tersebut. Dengan memodelkan kemungkinan gangguan yang terjadi maka diharapkan apabila ada gangguan yang terjadi maka sistem dapat stabil maka perlu dilakukan analisis kestabilan transien. Sehingga perlu memodelkan *single line diagram* PT. Kaltim Methanol Industri dan PT. Kaltim Daya Mandiri yang terintegrasi dalam *software* ETAP. Pemodelan *single line diagram* ini dimodelkan berdasarkan data yang sebenarnya sesuai yang ada di lapangan. Setelah dilakukan pemodelan *single line diagram* pada ETAP dilakukan studi simulasi dan analisis kestabilan transien dengan studi kasus meliputi kemungkinan gangguan yang terjadi. Analisis dilakukan ketika terjadi generator *outage*, *short circuit* dan motor *starting*.

4.7 Studi Kasus Kestabilan Transien

Pada simulasi ini dilakukan beberapa kasus gangguan yang mungkin terjadi untuk dilakukan analisis kestabilan transien, dengan memperhatikan respon dari frekuensi, tegangan, dan sudut rotor. Studi kasus gangguan yang dilakukan pada simulasi ini antara lain sebagai berikut:

1. Generator *outage*: Pada kasus ini terdapat satu atau lebih generator yang dilepas dan mendiskripsikan efek dari generator *outage* pada sistem dan apakah diperlukan mekanisme *load shedding*.
2. *Short circuit*: Mendiskripsikan efek dari *short circuit* 3 fasa pada setiap level tegangan dan kasus ini terjadi gangguan hubung singkat pada bus KDM-1 (11kV).
3. Motor *starting*: Mendiskripsikan efek dari *starting* motor terbesar pada sistem secara keseluruhan dan pada kasus ini terjadi *starting* motor terbesar yaitu motor 065-G01BM berkapasitas 1150 kW.

Tabel 4. 4 Studi kasus kestabilan transien

No	Studi Kasus	Keterangan
1	SC 11 kV	Gangguan hubung singkat di bus KDM-1 (11 kV) dilanjutkan dengan CB <i>open</i> saat 0,2 detik setelah gangguan.
2	MPG <i>off</i> + LS status	Generator MPG <i>outage</i> dari sistem dilanjutkan dengan <i>load shedding</i> dengan status
3	KDM 1 <i>off</i> + LS2	Generator KDM 1 <i>outage</i> dari sistem dilanjutkan dengan <i>load shedding</i> tahap 1 dan tahap 2
4	Motor <i>starting</i>	Motor 065-G01BM <i>Start</i> (1150 kW)
5	KDM 1 <i>off</i> + CB 101-1+ rele <i>reverse power</i>	Generator KDM 1 <i>outage</i> dari sistem, setelah itu CB KDM 101-1 membuka saat 0,4 detik setelah gangguan dan kerja rele <i>reverse power</i> .
6	KDM 1 <i>off</i> + rele <i>undervoltage</i>	Generator KDM 1 <i>outage</i> dari sistem dilanjutkan dengan kerja rele <i>undervoltage</i>
7	KDM 1 <i>off</i> + rele <i>under frekuensi</i>	Generator KDM 1 <i>outage</i> dari sistem dilanjutkan dengan kerja rele <i>under frekuensi</i>

Studi kasus gangguan generator *outage*, dan *short circuit* bus yang digunakan sebagai indikasi kestabilan transien sistem yaitu:

1. New bus bar 150-NS02 mewakili tegangan 6,6 kV
2. MCC 150-NM01(A) mewakili tegangan 0,4 kV

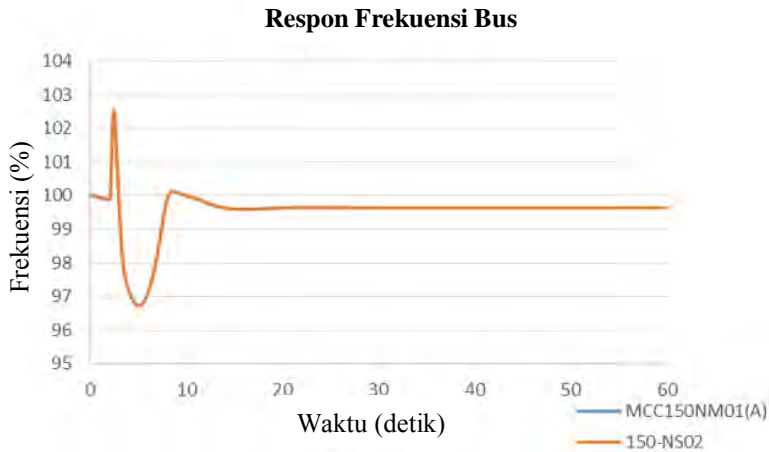
Untuk studi kasus gangguan motor *starting*, bus yang digunakan sebagai indikasi kestabilan transien adalah bus switchgear 150-NS01 bertegangan 6,6 kV yang terhubung langsung dengan motor yang akan dinyalakan.

4.8 Hasil Simulasi Kestabilan Transien dan Mekanisme *Load Shedding*

Pada sub ini dijelaskan hasil dari analisis kestabilan transien meliputi respon frekuensi, tegangan, dan sudut rotor generator dari setiap *case* yang ada. Apabila sistem tidak stabil maka dilakukan *load shedding* agar sistem kembali normal.

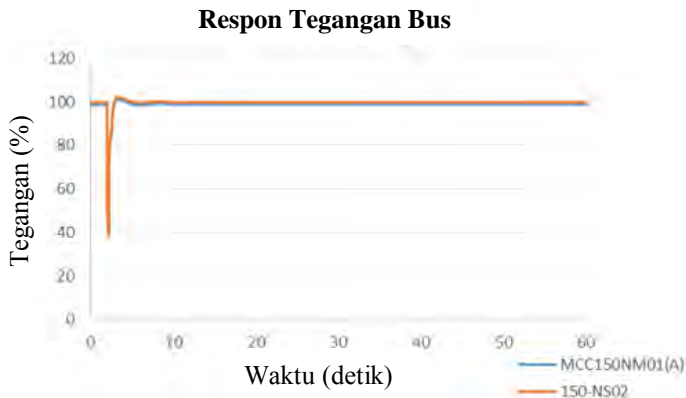
4.8.1 Studi Kasus *Short Circuit* Bus KDM-1 (11kV)

Pada studi kasus ini dilakukan simulasi gangguan hubung singkat tiga fasa pada bus KDM-1 (11kV). Bus KDM-1 terjadi gangguan hubung singkat selama 2 detik sehingga mengakibatkan CB 63 (link PT.KDM to PT.KMI) *open* ketika 2,2 detik. Setelah itu dilakukan analisis mengenai frekuensi, tegangan, dan sudut rotor generator apakah masih sesuai dengan standar yang ada atau perlu dilakukan mekanisme *load shedding* untuk memperbaiki frekuensi, tegangan, dan sudut rotor generator. Hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 4.21 (respon frekuensi), Gambar 4.22 (respon tegangan), dan Gambar 4.23 (respon sudut rotor).



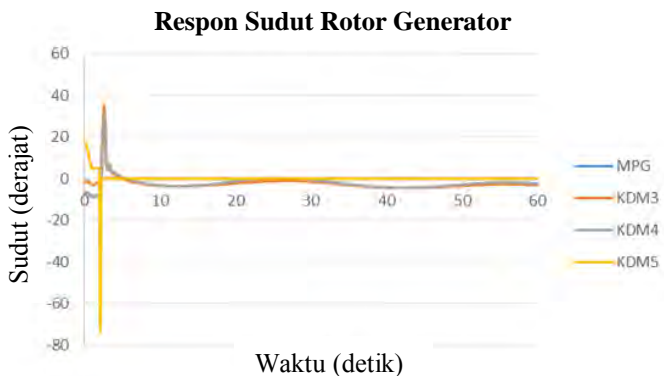
Gambar 4. 21 Respon frekuensi bus ketika *short circuit* di bus KDM-1

Pada Gambar 4.21 menunjukan respon frekuensi di *new bus bar* 150-NS02 dan bus MCC150NM01(A). Respon frekuensi mengalami kenaikan hingga 102,5% ketika 2,5 detik selanjutnya frekuensi mengalami penurunan terendah hingga 96,73% ketika 5,1 detik dari frekuensi normal dan akhirnya frekuensi stabil atau *steady state* pada 99,64% dari frekuensi normal. Sehingga sistem aman karena telah memenuhi standar.



Gambar 4. 22 Respon tegangan bus ketika *short circuit* di bus KDM-1

Pada Gambar 4.22 menunjukkan respon tegangan di *new* bus bar 150-NS02 dan bus MCC150NM0(A). Tegangan di *New* bus bar 150-NS02 dan bus MCC150NM01(A) mengalami penurunan hingga 39,12% dan 39,07% pada 2,2 detik. Hal ini terjadi karena terjadi gangguan hubung singkat pada bus KDM-1 yang begitu besar mengakibatkan *drop* tegangan. Setelah CB 63 bekerja maka tegangan pada *new* bus bar 150-NS02 dan bus MCC150NM01(A) kembali stabil di tegangan 99,85% dan 98,84%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa kondisi tegangan sistem pada saat studi kasus *short circuit* bus KDM-1 (level tegangan 11kV) masih dalam batas aman.



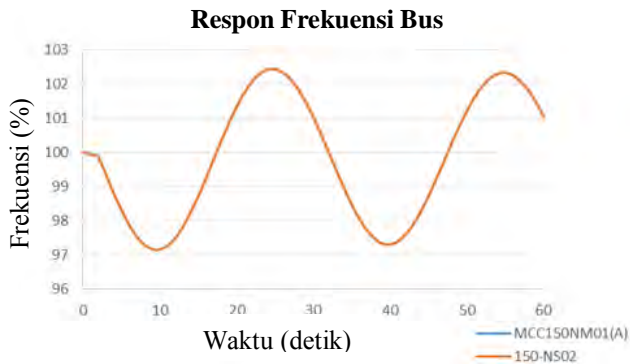
Gambar 4. 23 Respon sudut rotor generator ketika *short circuit* di bus KDM-1

Pada Gambar 4.23 menunjukkan respon sudut rotor dari masing generator saat gangguan hubung singkat atau *short circuit* di bus KDM-1. Generator KDM 2 digunakan sebagai referensi. Respon sudut rotor generator MPG sebelum mengalami gangguan $-7,3^\circ$. Sedangkan ketika mengalami gangguan sudut rotor generator MPG mengalami osilasi terendah menjadi $-8,49^\circ$ pada saat 2 detik dan kenaikan tertinggi $3,09^\circ$ pada saat 2,2 detik. Setelah itu sudut rotor generator MPG *steady state*. Generator KDM 3 sebelum terjadi gangguan yaitu $-1,48^\circ$ dan setelah terjadi gangguan sudut rotor generator KDM 3 mengalami osilasi terendah menjadi $-4,41^\circ$ dan kenaikan tertinggi $35,03^\circ$ pada saat 2,7 detik. Setelah itu sudut rotor generator KDM 3 *steady state* $-3,0^\circ$. Generator KDM 4 sebelum terjadi gangguan menjadi $-6,96^\circ$ dan setelah terjadi gangguan sudut rotor generator KDM 4 mengalami osilasi terendah menjadi $-9,19^\circ$ pada saat 2,2 detik dan kenaikan tertinggi $30,01^\circ$ pada saat 2,7 detik. Setelah itu sudut rotor generator KDM 4 *steady state* $-2,2^\circ$. Generator KDM 5 sebelum terjadi gangguan menjadi $16,78^\circ$ dan setelah terjadi gangguan sudut rotor generator KDM 5 mengalami osilasi terendah menjadi $-73,58^\circ$ pada saat 2.1 detik Setelah itu sudut rotor generator KDM 5 *steady state*. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa sudut rotor masih dalam batas aman karena kurang dari $\pm 180^\circ$.

Berdasarkan data dapat disimpulkan bahwa frekuensi, sudut rotor dan tegangan masih dianggap aman maka tidak perlu dilakukan *load shedding*.

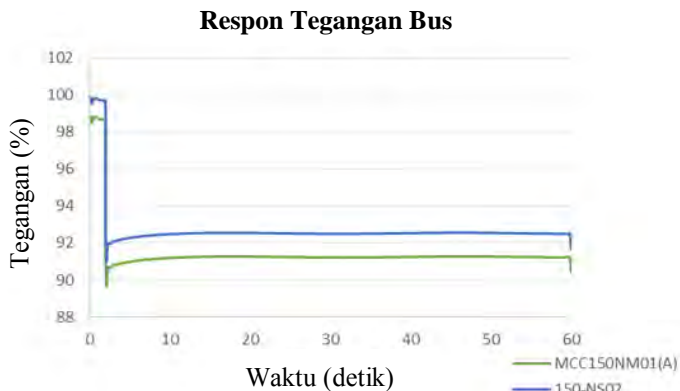
4.8.2 Studi Kasus Generator MPG 070-X01 Lepas

Pada kasus ini disimulasikan generator MPG 070-X01 *outage* pada sistem kelistrikan PT. Kaltim Methanol industri. Generator MPG 070-X01 disimulasikan *off* pada 2 detik. Sedangkan sumber dari PT. Kaltim Daya Mandiri tetap mengalir melewati trafo link to KDM yang menyuplai PT. Kaltim Methanol Industri maksimal sebesar 3,2 MW. Kemudian dilakukan analisis mengenai frekuensi, tegangan, dan sudut rotor generator apakah masih sesuai dengan standar yang ada atau perlu dilakukan mekanisme *load shedding* untuk memperbaiki frekuensi, tegangan, dan sudut rotor generator. Hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 4.24 (respon frekuensi), Gambar 4.25 (respon tegangan), dan Gambar 4.26 (respon sudut rotor).



Gambar 4. 24 Respon frekuensi bus ketika MPG 070-X01 lepas

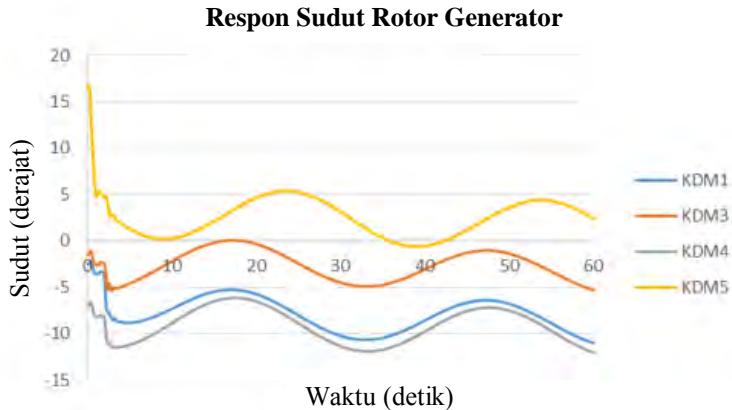
Pada Gambar 4.24 menunjukkan respon frekuensi di *new* bus bar 150-NS02 dan bus MCC150NM01(A). Respon frekuensi mengalami osilasi terus menerus dan terjadi penurunan frekuensi 97,16% ketika 10 detik hal ini dilarang karena menurut standar tidak boleh menyentuh daerah *prohibited operation*. Sehingga studi kasus terlepasnya generator MPG 070-X01 perlu dilakukan mekanisme *load shedding*.



Gambar 4. 25 Respon tegangan bus ketika MPG 070-X01 lepas

Pada Gambar 4.25 menunjukkan respon tegangan di *new* bus bar 150-NS02 dan bus MCC150NM01(A). Tegangan di *New* bus bar 150-NS02 mengalami penurunan terus menerus sampai mencapai 91,69% dari

tegangan normal dan bus MCC150NM01(A) mengalami penurunan terus menerus sampai mencapai 90,44% dari tegangan normal. Oleh karena itu pada studi kasus terlepasnya generator MPG 070-X01 diperlukan mekanisme lebih lanjut agar tegangan dapat lebih stabil.

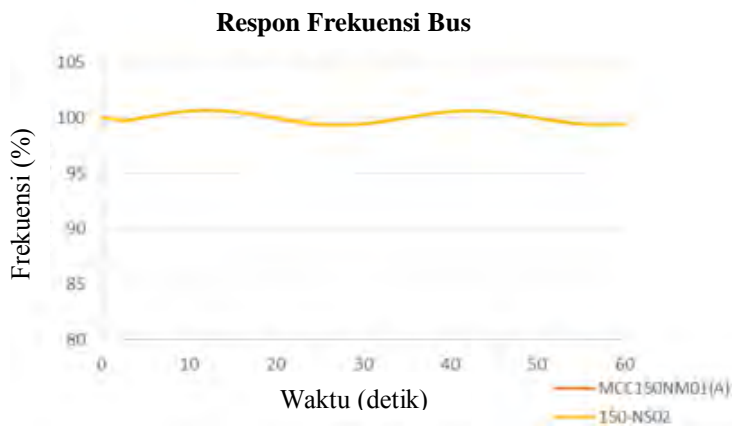


Gambar 4. 26 Respon sudut rotor generator ketika MPG 070-X01 lepas

Pada Gambar 4.26 menunjukan respon sudut rotor dari masing generator ketika generator MPG 070-X01 terlepas dari sistem. Generator KDM 2 digunakan sebagai referensi. Respon sudut rotor generator KDM 1 sebelum mengalami gangguan $-2,49^\circ$. Sedangkan ketika mengalami gangguan sudut rotor generator KDM 1 mengalami osilasi sampai *steady state* pada sudut -11° . Generator KDM 3 sebelum terjadi gangguan yaitu $-1,48^\circ$ dan setelah terjadi gangguan sudut rotor generator KDM 3 mengalami osilasi sampai *steady state* pada sudut $-5,2^\circ$. Generator KDM 4 sebelum terjadi gangguan yaitu $-6,96^\circ$ dan setelah terjadi gangguan sudut rotor generator KDM 4 mengalami osilasi terendah $-11,91^\circ$ dan setelah itu sudut rotor generator KDM 4 *steady state* pada sudut $-12,0^\circ$. Generator KDM 5 sebelum terjadi gangguan menjadi $16,78^\circ$ dan setelah terjadi gangguan sudut rotor generator KDM 5 mengalami osilasi terendah menjadi $-0,61^\circ$ dan setelah itu sudut rotor generator KDM 5 *steady state* saat sudut $2,4^\circ$. Terlihat terjadi osilasi sudut rotor namun hal ini masih dalam *range* yang diperbolehkan kurang dari $\pm 180^\circ$.

4.8.2.1 Studi Kasus Generator MPG 070-X01 Lepas dan Mekanisme *Load Shedding Status*.

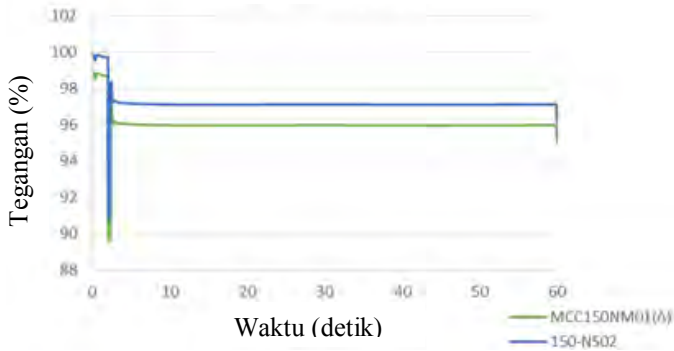
Pada sub bab ini akan dilakukan analisis hasil simulasi dari studi kasus generator MPG 070-X01 lepas dan dilanjutkan dengan mekanisme *load shedding status*. Generator MPG *off* pada 2 detik, sedangkan generator KDM dalam keadaan *on*. Mekanisme *load shedding* disimulasikan 0,3 detik setelah terjadinya generator MPG *off*. Hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 4.27 (respon frekuensi), Gambar 4.28 (respon tegangan), dan Gambar 4.29 (respon sudut rotor).



Gambar 4. 27 Respon frekuensi bus ketika MPG 070-X01 lepas dan mekanisme *load shedding status*

Pada Gambar 4.27 ini merupakan respon frekuensi di *new bus bar* 150-NS02 dan bus MCC150NM01(A) setelah dilakukan *load shedding status*. Dari gambar terlihat respon frekuensi beresilasi terus menurun dengan kenaikan tertinggi 100,7% dan penurunan terendah 99,38% hal ini terjadi karena terlepasnya generator utama yaitu generator MPG sehingga mengakibatkan frekuensi terus menerus berisilasi dan yang menyuplai dari trafo link to KDM saja. Dengan demikian respon frekuensi masih sesuai dengan standar.

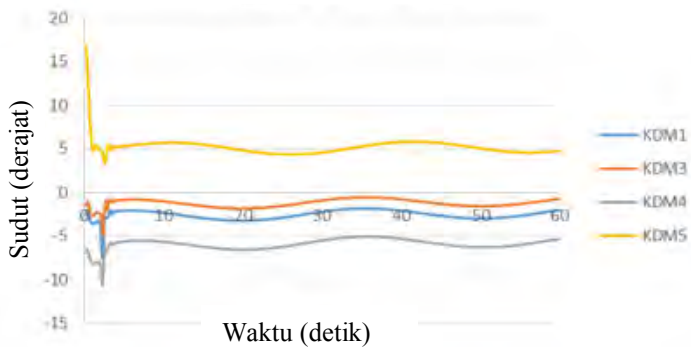
Respon Tegangan Bus



Gambar 4. 28 Respon tegangan bus ketika MPG 070-X01 lepas dan mekanisme *load shedding status*

Gambar 4.28 menunjukkan respon tegangan pada *new* bus bar 150-NS02 dan bus MCC150NM01(A) setelah dilakukan *load shedding status*. Respon tegangan *new* bus bar 150-NS02 mengalami penurunan mencapai 90,94% dan kembali stabil atau *steady state* pada tegangan 96,16% dari tegangan normal. Respon tegangan bus MCC150NM01(A) mengalami penurunan mencapai 89,69% dan kembali stabil atau *steady state* pada tegangan 95,05% dari tegangan normal.

Respon Sudut Rotor Generator



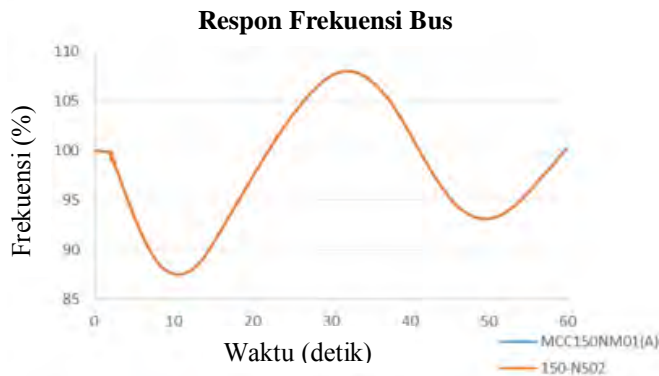
Gambar 4. 29 Respon sudut rotor generator ketika MPG 070-X01 lepas dan mekanisme *load shedding status*

Pada Gambar 4.29 menunjukkan respon sudut rotor dari masing generator ketika generator MPG 070-X01 terlepas dari sistem. Generator KDM 2 digunakan sebagai referensi. Respon sudut rotor generator KDM 1 sebelum mengalami gangguan $-2,49^\circ$. Sedangkan ketika mengalami gangguan sudut rotor generator KDM 1 mengalami osilasi terendah menjadi $-7,61^\circ$. Setelah itu sudut rotor generator KDM 1 *steady state* pada sudut $-2,0^\circ$. Generator KDM 3 sebelum terjadi gangguan yaitu $-1,48^\circ$ dan setelah terjadi gangguan sudut rotor generator KDM 3 mengalami osilasi terendah menjadi $-4,81^\circ$ dan setelah itu sudut rotor generator KDM 3 *steady state* pada sudut $-0,74^\circ$. Generator KDM 4 sebelum terjadi gangguan yaitu $-6,96^\circ$ dan setelah terjadi gangguan sudut rotor generator KDM 4 mengalami osilasi terendah $-10,69^\circ$ dan setelah itu sudut rotor generator KDM 4 *steady state* pada sudut $-5,35^\circ$. Generator KDM 5 sebelum terjadi gangguan menjadi $16,78^\circ$ dan setelah terjadi gangguan sudut rotor generator KDM 5 mengalami osilasi terendah menjadi $3,36^\circ$ dan setelah itu sudut rotor generator KDM 5 *steady state* saat sudut $4,75^\circ$. Terlihat terjadi osilasi sudut rotor namun hal ini masih dalam *range* yang diperbolehkan kurang dari $\pm 180^\circ$.

Dari hasil analisis respon frekuensi, tegangan, dan sudut rotor dapat disimpulkan bahwa sistem dapat kembali stabil setelah dilakukan mekanisme load shedding status.

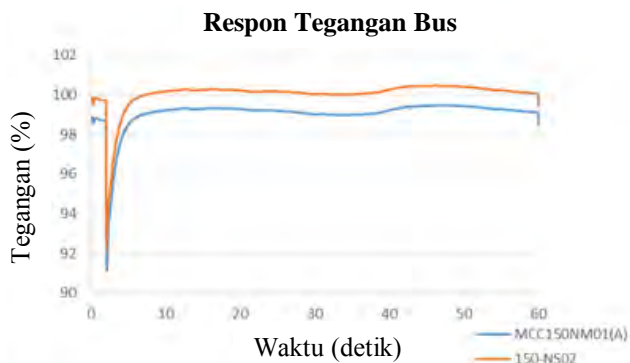
4.8.3 Studi Kasus Generator KDM 1 Lepas

Pada kasus ini disimulasikan generator KDM 1 yang terintegrasi (11kV) dengan PT. Kaltim Methanol industri terlepas dari sistem. Generator KDM 1 disimulasikan *off* pada 2 detik dengan lama simulasi 60 detik. Setelah itu dilakukan analisis respon frekuensi, tegangan, dan sudut rotor generator apakah masih sesuai dengan standar yang ada atau perlu dilakukan mekanisme *load shedding* untuk memperbaiki frekuensi, tegangan, dan sudut rotor generator. Hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 4.30 (respon frekuensi), Gambar 4.31 (respon tegangan), dan Gambar 4.32 (respon sudut rotor).



Gambar 4. 30 Respon frekuensi bus ketika KDM 1 lepas

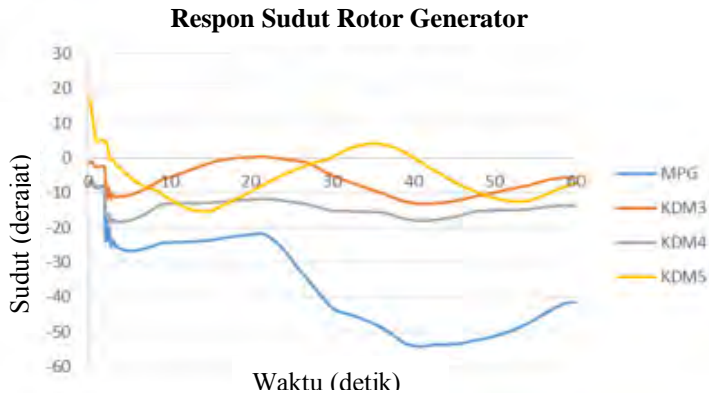
Pada Gambar 4.30 menunjukkan respon frekuensi di *new bus bar* 150-NS02 dan bus MCC150NM01(A) ketika generator KDM 1 lepas pada 2 detik. Dapat dilihat bahwa sistem mengalami penurunan frekuensi melebihi standar yang diperbolehkan yaitu mencapai 87,52 pada saat 10,7 detik. Sehingga pada studi kasus KDM 1 lepas perlu dilakukan mekanisme *load shedding*.



Gambar 4. 31 Respon tegangan bus ketika KDM 1 lepas

Pada Gambar 4.31 menunjukkan respon tegangan di *new bus bar* 150-NS02 dan bus MCC150NM01(A) ketika KDM 1 terlepas dari sistem. Tegangan pada bus *new bus bar* 150-NS02 turun sampai 92,33% dan tegangan kembali *steady state* 99,43% dari tegangan normal. Tegangan

pada bus MCC150NM01(A) turun sampai 91,23% dan tegangan kembali *steady state* 98,48% dari tegangan normal. Ini masih dalam batas tegangan yang diperbolehkan.



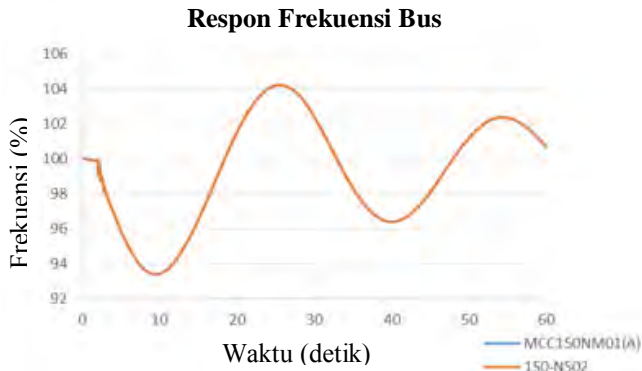
Gambar 4. 32 Respon sudut rotor generator ketika KDM 1 lepas

Pada Gambar 4.32 menunjukkan respon sudut rotor dari masing generator ketika generator MPG 070-X01 terlepas dari sistem. Generator KDM 2 digunakan sebagai referensi. Terjadi osilasi sudut rotor namun demikian hal ini masih dalam *range* yang diperbolehkan.

Berdasarkan data dapat disimpulkan bahwa respon tegangan, dan sudut rotor masih dalam batas aman. Namun respon frekuensinya belum memenuhi standar. Maka untuk mempertahankan peralatan dan memperbaiki respon sistem perlu dilakukan mekanisme *Load Shedding*.

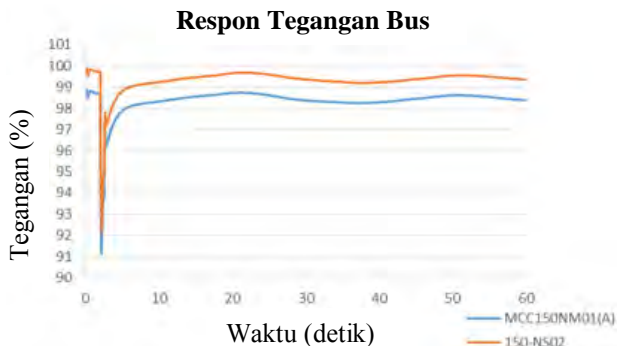
4.8.3.1 Studi Kasus Generator KDM 1 Lepas dan Mekanisme *Load Shedding* Tahap 1

Selanjutnya dilakukan analisis hasil simulasi dari studi kasus generator KDM 1 lepas dilanjutkan dengan mekanisme *load shedding* tahap 1 sesuai dengan standar ANSI/IEEE C37.106-2003. *Load shedding* tahap 1 dilakukan pada saat frekuensi mencapai 98,83% dari frekuensi normal. Besar beban yang harus dilepas ketika *load shedding* tahap 1 adalah 10% (9,0883 MW) dari total beban. Waktu yang diperlukan untuk melakukan simulasi *load shedding* tahap 1 yaitu $2,405s + 0,12s = 2,525s$.



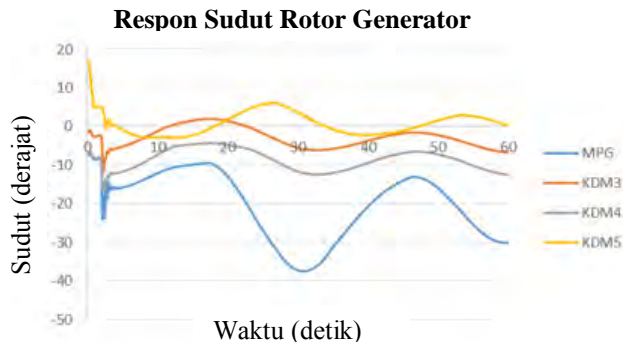
Gambar 4.33 Respon frekuensi bus KDM 1 lepas dan *load shedding* tahap 1

Pada Gambar 4.33 dapat dilihat respon frekuensi pada *new bus bar* 150-NS02 dan bus MCC150NM01(A) setelah dilakukan *load shedding* tahap 1 menyebabkan respon frekuensi menjadi 100,65% dengan penurunan frekuensi terendah yaitu 93,41%.



Gambar 4.34 Respon tegangan bus KDM 1 lepas dan *load shedding* tahap 1

Pada Gambar 4.34 dapat dilihat respon tegangan pada *new bus bar* 150-NS02 dan bus MCC150NM01(A) setelah dilakukan *load shedding* tahap 1. Terlihat bahwa respon tegangan *new bus bar* 150-NS02 menjadi 99,34% dan penurunan terendah tegangan 92,33% dari tegangan normal dan respon tegangan pada bus MCC150NM01(A) menjadi 98,38% dan penurunan terendah tegangan 91,23% dari tegangan normal.



Gambar 4. 35 Respon sudut rotor generator KDM 1 lepas dan *load shedding* tahap 1

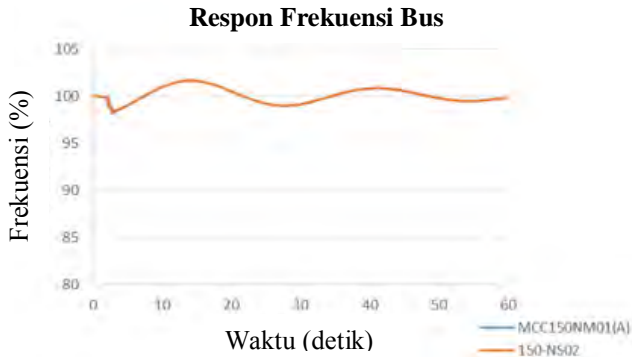
Pada Gambar 4.35 terlihat respon sudut rotor ketika generator KDM 1 terlepas dari sistem dan dilakukan mekanisme *load shedding* tahap 1. Generator KDM 2 digunakan sebagai referensi. Respon sudut rotor generator MPG sebelum mengalami gangguan $-7,3^{\circ}$. Sedangkan ketika mengalami gangguan sudut rotor generator MPG mengalami osilasi terendah menjadi $-37,47^{\circ}$ dan *steady state* pada $-30,0^{\circ}$. Respon sudut rotor generator KDM 3 sebelum mengalami gangguan $-1,48^{\circ}$. Sedangkan ketika mengalami gangguan sudut rotor generator KDM 3 mengalami osilasi terendah menjadi $-11,81^{\circ}$ dan *steady state* pada $-6,6^{\circ}$. Respon sudut rotor generator KDM 4 sebelum mengalami gangguan $-6,96^{\circ}$. Sedangkan ketika mengalami gangguan sudut rotor generator KDM 4 mengalami osilasi terendah menjadi $-16,79^{\circ}$ dan *steady state* pada $-12,4^{\circ}$. Respon sudut rotor generator KDM 5 sebelum mengalami gangguan $16,78^{\circ}$. Sedangkan ketika mengalami gangguan sudut rotor generator KDM 5 mengalami osilasi terendah menjadi $-2,91^{\circ}$ dan *steady state* pada $0,3^{\circ}$.

Berdasarkan data dapat disimpulkan bahwa respon tegangan, dan sudut rotor kembali stabil namun frekuensinya belum memenuhi standar. Maka untuk mempertahankan peralatan dan memperbaiki respon sistem perlu dilakukan mekanisme *Load Shedding* tahap 2.

4.8.3.2 Studi Kasus Generator KDM 1 Lepas dan Mekanisme *Load Shedding* Tahap 2

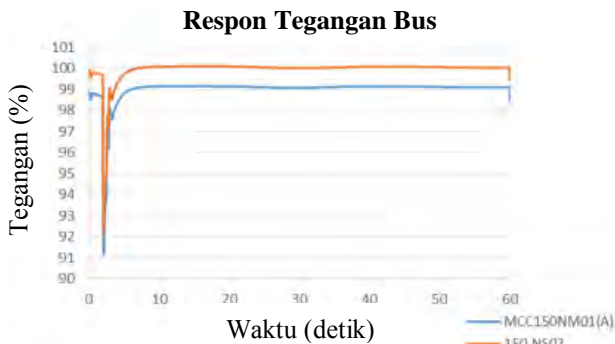
Mekanisme *Load Shedding* tahap 2 kali ini akan dilakukan berdasarkan standart ANSI/IEEE C37.106-2003. Besar *Load Shedding*

tahap 2 adalah 15% (13,632 MW) dari total beban. *Load Shedding* dilakukan pada frekuensi 98,16%. Waktu yang diperlukan untuk melakukan simulasi *Load Shedding* tahap 2 adalah $2,73s + 0,12s = 2,85s$.



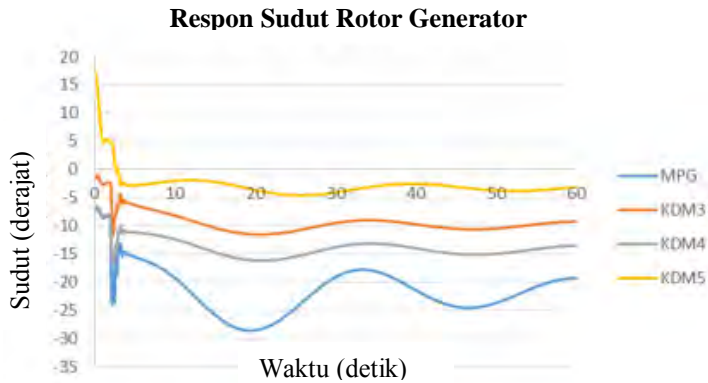
Gambar 4. 36 Respon frekuensi bus KDM 1 lepas dan *load shedding* tahap 2

Pada Gambar 4.36 dapat dilihat respon frekuensi pada *new bus bar* 150-NS02 dan bus MCC150NM01(A) setelah dilakukan *load shedding* tahap 2. Akibat adanya mekanisme *Load Shedding* tahap 2 menyebabkan frekuensi turun menjadi 99,84%, dengan penurunan terendah 98,17% ketika 2,73 detik. Sehingga dalam studi kasus tersebut respon frekuensi sesuai dengan standar yang diizinkan untuk beroperasi.



Gambar 4. 37 Respon tegangan bus KDM 1 lepas dan *load shedding* tahap 2

Pada Gambar 4.37 dapat dilihat respon tegangan pada *new* bus bar 150-NS02 dan bus MCC150NM01(A) setelah dilakukan *load shedding* tahap 2. Terlihat bahwa respon tegangan pada *new* bus bar 150-NS02 menjadi 99,43% dan penurunan terendah tegangan 92,39% dari tegangan normal dan respon tegangan bus pada MCC150NM01(A) menjadi 98,49% dan penurunan terendah tegangan 91,23% dari tegangan normal. Respon tegangan ini sesuai dengan batas standar.



Gambar 4. 38 Respon sudut rotor generator KDM 1 lepas dan *load shedding* tahap 2

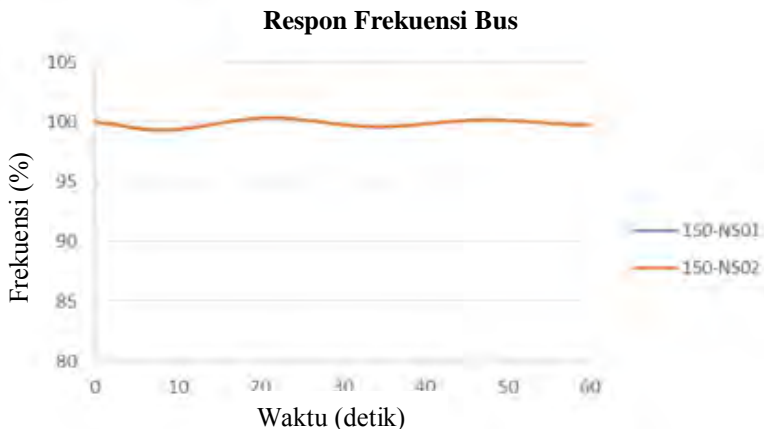
Pada Gambar 4.38 terlihat respon sudut rotor ketika generator KDM 1 terlepas dari sistem dan dilakukan mekanisme *load shedding* tahap 2. Generator KDM 2 digunakan sebagai referensi. Respon sudut rotor generator MPG sebelum mengalami gangguan $-7,3^{\circ}$. Sedangkan ketika mengalami gangguan sudut rotor generator MPG mengalami osilasi terendah menjadi $-28,61^{\circ}$ dan *steady state* pada $-19,3^{\circ}$. Respon sudut rotor generator KDM 3 sebelum mengalami gangguan $-1,48^{\circ}$. Sedangkan ketika mengalami gangguan sudut rotor generator KDM 3 mengalami osilasi terendah menjadi $-11,81^{\circ}$ dan *steady state* pada $-9,2^{\circ}$. Respon sudut rotor generator KDM 4 sebelum mengalami gangguan $-6,96^{\circ}$. Sedangkan ketika mengalami gangguan sudut rotor generator KDM 4 mengalami osilasi terendah menjadi $-16,79^{\circ}$ dan *steady state* pada $-13,5^{\circ}$. Respon sudut rotor generator KDM 5 sebelum mengalami gangguan $16,78^{\circ}$. Sedangkan ketika mengalami gangguan sudut rotor generator KDM 5 mengalami osilasi terendah menjadi $-4,61^{\circ}$ dan *steady state* pada $3,1^{\circ}$.

Dari hasil analisis respon frekuensi, respon tegangan, dan respon sudut rotor dapat disimpulkan bahwa sistem dapat kembali stabil setelah dilakukan mekanisme *load shedding* 2 tahap.

4.8.4 Studi Kasus Motor 065-G01BM Start

Kali ini dilakukan simulasi starting motor terbesar pada sistem kelistrikan PT. Kaltim Methanol Industri. *Starting* motor mengakibatkan *drop* tegangan yang besar dalam waktu yang singkat. Hal ini disebabkan karena motor menarik arus yang begitu besar pada saat motor *starting*. Apabila *drop* tegangan melewati batas standar yang diijinkan maka kestabilan sistem dapat terganggu. Oleh sebab itu perlu dilakukan analisis terhadap *starting* motor.

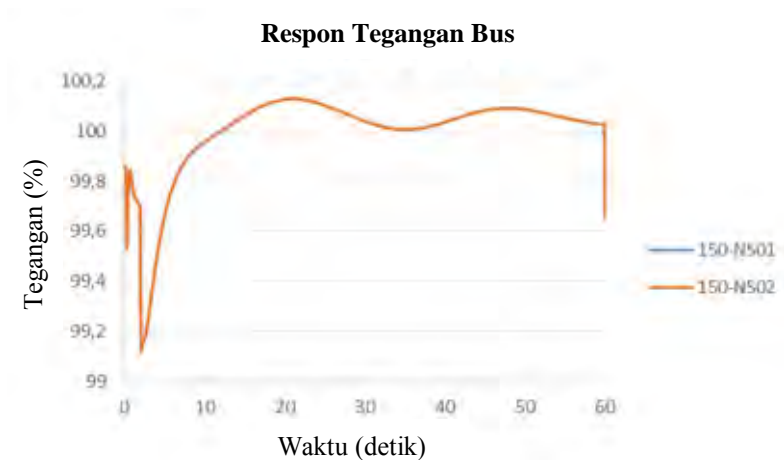
Motor 065-G01BM berkapasitas 1150 kW dinyalakan pada 2 detik, metode *starting motor* yang digunakan yaitu DOL (*direct on line*) sehingga *event* yang digunakan pada simulasi yaitu dengan menghubungkan *switch on (close)* pada sistem. Hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 4.39 (respon frekuensi), Gambar 4.40 (respon tegangan), dan Gambar 4.41 (respon sudut rotor).



Gambar 4. 39 Respon frekuensi bus ketika motor 065-G01BM start

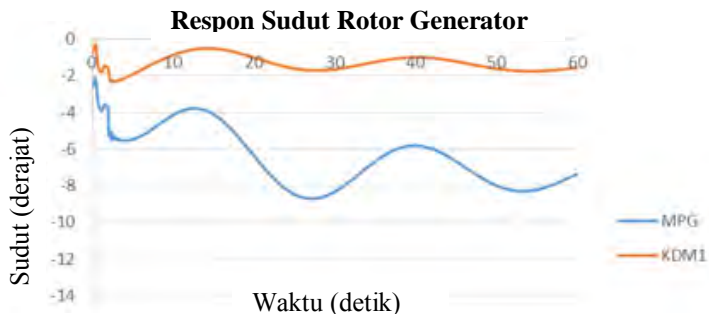
Pada Gambar 4.39 terlihat bahwa setelah motor *starting* terjadi penurunan frekuensi mencapai 99,36% pada 7,5 detik namun demikian penurunan ini masih dalam batas yang diperbolehkan dan kembali normal atau *steady state* 99,77% dari frekuensi normal. Sehingga dapat

disimpulkan bahwa untuk studi kasus *starting* motor 065-G01BM frekuensi sistem masih dalam pada batas aman.



Gambar 4. 40 Respon tegangan bus ketika motor 065-G01BM *start*

Pada Gambar 4.40 menunjukan respon tegangan di *new* bus bar 150-NS02 dan bus 150-NS01 yang berlokasi dekat dengan motor *starting*. Penurunan tegangan mencapai 99,12% pada 2,1 detik dan respon tegangan stabil menjadi 99,65% dari tegangan normal. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa kondisi tegangan sistem pada saat studi kasus *starting* motor 065-G01BM tegangan sistem masih dalam pada batas aman.



Gambar 4. 41 Respon sudut rotor generator ketika motor 065-G01BM *start*

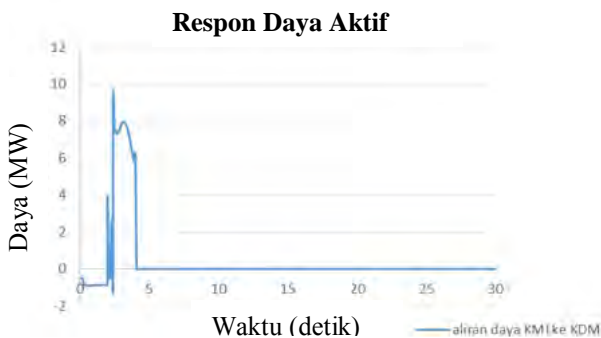
Pada Gambar 4.41 menunjukkan respon sudut rotor pada saat motor 065-G01BM *start* pada 2 detik. Terlihat sesaat setelah motor dinyalakan terjadi osilasi dari masing-masing generator yang dekat dengan motor yang distart. Generator KDM 2 sebagai referensi. Respon sudut rotor generator MPG sebelum mengalami gangguan $-2,55^\circ$. Sedangkan ketika mengalami gangguan sudut rotor generator MPG mengalami osilasi terendah menjadi $-8,7^\circ$ dan *steady state* pada $-7,3^\circ$. Respon sudut rotor generator KDM 1 sebelum mengalami gangguan $-0,65^\circ$. Sedangkan ketika mengalami gangguan sudut rotor generator KDM 1 mengalami osilasi terendah menjadi $-2,34^\circ$ dan *steady state* pada $-1,5^\circ$. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa sudut rotor masih dalam batas aman karena kurang dari $\pm 180^\circ$.

Berdasarkan data dapat disimpulkan bahwa respon frekuensi, tegangan, dan sudut rotor kembali stabil dan memenuhi standar.

4.8.5 Studi Kasus KDM 1 Lepas dan Kerja Rele *Reverse Power* (32P dan 32Q)

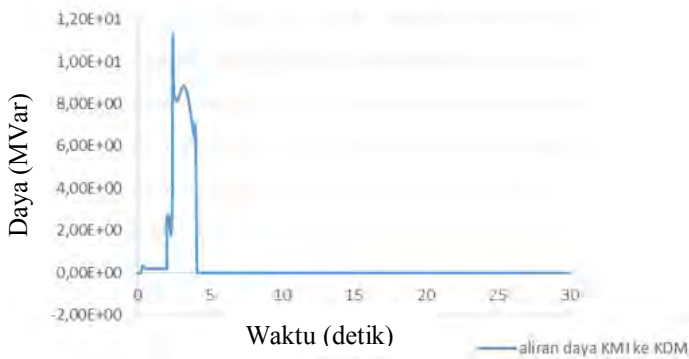
Ketika generator KDM 1 disimulasikan lepas saat 2 detik dan dilanjutkan dengan membukanya CB KDM 101-1 pada saat 0,4 detik setelah terjadinya gangguan. Saat sumber KDM lepas, maka ada aliran daya mengalir dari generator MPG (milik PT. KMI) menuju kembali lagi ke PT. KDM melalui trafo *link to KDM*. Sehingga dibutuhkan rele *reverse power* (32P dan 32Q).

Berikut ini adalah analisis kestabilan transien untuk respon daya aktif saat generator KDM terjadi gangguan. Disimulasikan generator KDM *off* ketika 2 detik dan dilanjutkan CB KDM 101-1 *trip*.



Gambar 4. 42 Respon daya aktif yang mengalir dari KMI ke KDM

Respon Daya Reaktif



Gambar 4. 43 Respon daya reaktif yang mengalir dari KMI ke KDM

Pada Gambar 4.42 menunjukkan respon daya aktif yang mengalir dari KMI ke KDM pada saat generator KDM 1 lepas pada $t = 2$ detik, hasil simulasi menunjukkan bahwa aliran daya aktif yang menuju KDM sebesar 9,44 MW (maksimum) dan setelah itu daya menjadi nol (generator MPG sudah lepas dari sistem). Maka perlu dipasang rele *reverse power* (32P).

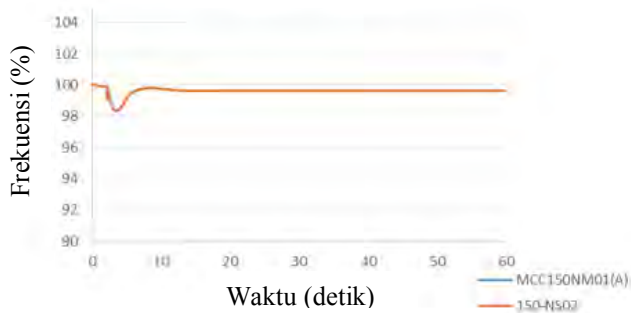
Pada Gambar 4.43 menunjukkan respon daya reaktif yang mengalir dari KMI ke KDM pada saat generator KDM 1 lepas saat $t = 2$ detik, hasil simulasi menunjukkan bahwa daya reaktif yang menuju KDM sebesar 11,20 Mvar (maksimum), sehingga perlu dipasang rele *reverse power* (32Q).

Dari kedua hasil simulasi diatas, maka dilakukan *setting* rele *reverse power*. Karena ada daya yang kembali ke KDM pada saat gangguan, aliran daya yang mengalir sebesar 9,44 MW dan 11,2 MVar maka CB harus dibuka secepat mungkin. Padahal PT. KDM harus mensuplai daya ke PT. KMI sebesar 0,5 MW dan 0,01 MVar. Maka *setting* rele 32P sebesar 1 MW pada 0,1 detik setelah terjadi gangguan. Untuk *setting* rele 32Q sebesar 1 MVar pada 0,1 detik setelah terjadi gangguan. Sehingga apabila ada aliran daya yang kembali ke KDM dibawah *setting* rele 32P dan 32Q bekerja.

4.8.5.1 Hasil Simulasi ketika Rele 32P dan Rele 32Q Bekerja

Pada studi kasus ini akan dilihat respon frekuensi, tegangan, dan sudut rotor ketika rele 32P dan 32Q bekerja. Hasil simulasi dapat dilihat dibawah ini.

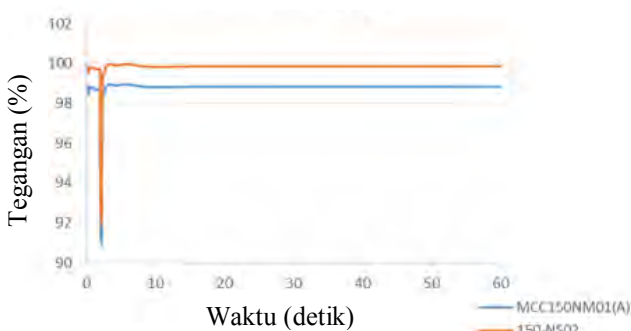
Respon Frekuensi Bus



Gambar 4. 44 Respon frekuensi bus ketika rele *reverse power* bekerja

Pada Gambar 4.44 n Waktu (detik) rekuensi di *new* bus bar 150-NS02 dan bus MCC150NM01(A). Ketika generator KDM 1 lepas pada 2 detik, setelah itu rele 32P dan 32Q bekerja setelah generator KDM lepas. Frekuensi turun menjadi 99,64%, dengan penurunan terendah 98,3% ketika 3,2 detik. Sehingga dalam studi kasus tersebut respon frekuensi sesuai dengan standar yang diizinkan untuk beroperasi.

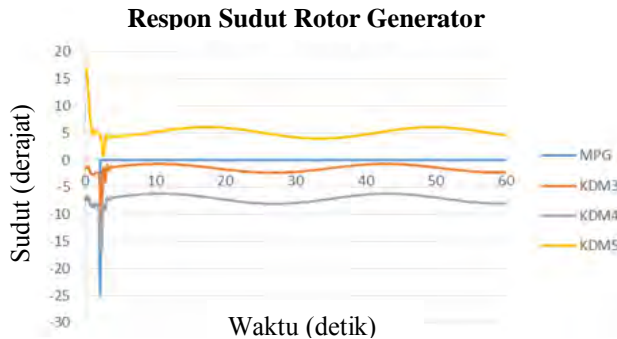
Respon Tegangan Bus



Gambar 4. 45 Respon tegangan bus ketika rele *reverse power* bekerja

Pada Gambar 4.45 menunjukan respon tegangan di *new* bus bar 150-NS02 dan bus MCC150NM01(A) ketika KDM 1 terlepas dari sistem. Tegangan pada bus *new* bus bar 150-NS02 turun sampai 92,06% dan tegangan kembali *steady state* 99,85% dari tegangan normal. Tegangan

pada bus MCC150NM01(A) turun sampai 90,97% dan tegangan kembali *steady state* 98,84% dari tegangan normal. Ini masih dalam batas tegangan yang diperbolehkan.



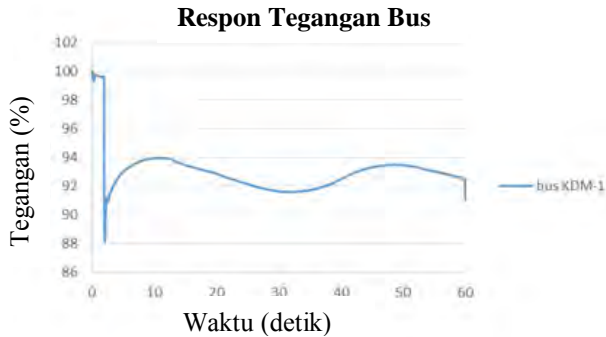
Gambar 4. 46 Respon sudut rotor generator ketika rele *reverse power* bekerja

Pada Gambar 4.46 menunjukkan respon sudut rotor generator ketika generator KDM 1 lepas. Generator KDM 2 digunakan sebagai referensi. Generator MPG mengalami *steady state*. Generator KDM 3 stabil pada sudut -2,24°, Generator KDM 4 stabil pada sudut -7,98°, Generator KDM 5 stabil pada sudut 4,57°. Respon sudut rotor ini masih dalam batas yang diperbolehkan.

Dari hasil analisis respon frekuensi, respon tegangan, dan respon sudut rotor dapat disimpulkan bahwa sistem dapat kembali stabil setelah rele *reverse power* bekerja.

4.8.6 Studi Kasus KDM 1 Lepas dan Kerja Rele *UnderVoltage* (27u)

Saat generator KDM 1 terlepas pada 2 detik maka akan terjadi penurunan tegangan sehingga diperlukan rele *undervoltage* untuk mengatasi gangguan tersebut. *Setting* rele *undervoltage* sesuai dengan standar IEEE 1195-1995 yaitu 90% sampai 110% dari tegangan normal. Rele *undervoltage* akan bekerja jika ada tegangan yang berada dibawah 90%.

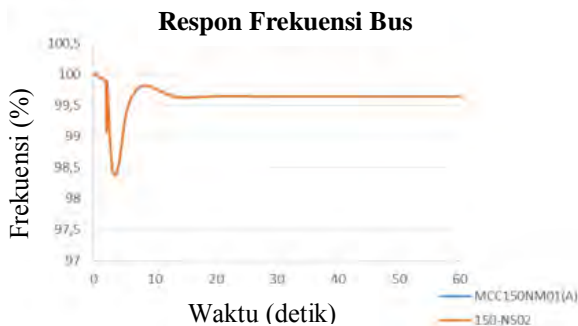


Gambar 4. 47 Respon tegangan bus ketika KDM 1 lepas

Pada Gambar 4.47 terlihat bahwa ada penurunan tegangan dibawah standar yang telah ditentukan maka rele *undervoltage* disetting pada 0,1 detik setelah gangguan. Karena tegangan mengalami penurunan menjadi 88,14% dari tegangan normal pada detik 2,1 detik. Maka rele *undervoltage* akan bekerja.

4.8.6.1 Hasil Simulasi ketika Rele *Undervoltage* (27) Bekerja.

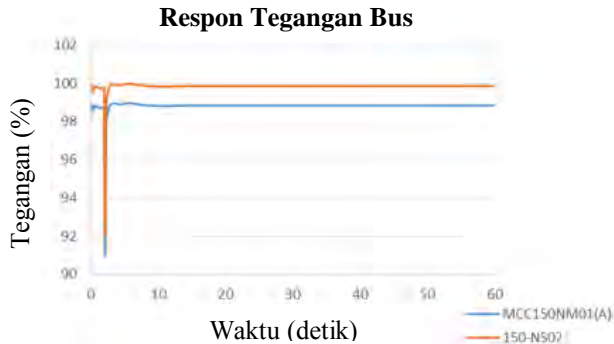
Saat rele *undervoltage* bekerja pada saat 0,1 detik setelah terjadi gangguan maka dapat dianalisis bagaimana respon frekuensi, tegangan, dan sudut rotor.



Gambar 4. 48 Respon frekuensi ketika rele *undervoltage* bekerja

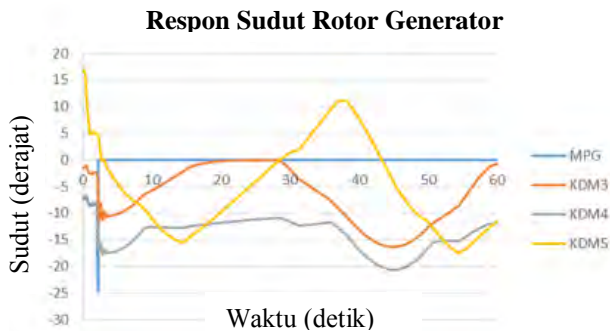
Pada Gambar 4.48 menunjukan respon frekuensi di *new* bus bar 150-NS02 dan bus MCC150NM01(A). Ketika generator KDM 1 lepas pada 2

detik dan rele *undervoltage* (27) bekerja ketika 0,1 detik setelah terjadi gangguan. Frekuensi turun menjadi 99,64%, dengan penurunan terendah 98,36% ketika 3,4 detik. Sehingga dalam studi kasus tersebut respon frekuensi sesuai dengan standar yang diizinkan untuk beroperasi.



Gambar 4. 49 Respon tegangan ketika rele *undervoltage* bekerja

Pada Gambar 4.49 menunjukkan respon tegangan di *new* bus bar 150-NS02 dan bus MCC150NM01(A) ketika KDM 1 terlepas dari sistem. Tegangan pada bus *new* bus bar 150-NS02 turun sampai 92,06% dan tegangan kembali *steady state* 99,85% dari tegangan normal. Tegangan pada bus MCC150NM01(A) turun sampai 90,97% dan tegangan kembali *steady state* 98,84% dari tegangan normal. Ini masih dalam batas tegangan yang diperbolehkan.



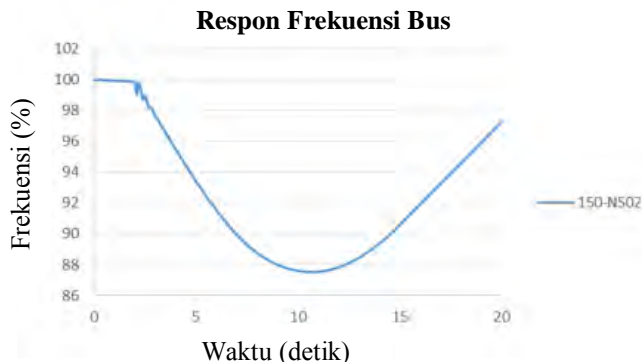
Gambar 4. 50 Respon sudut rotor generator ketika rele *undervoltage* bekerja

Pada Gambar 4.50 menunjukkan respon sudut rotor generator ketika generator KDM 1 lepas. Generator KDM 2 digunakan sebagai referensi. Generator MPG mengalami *steady state*. Generator KDM 3 stabil pada sudut $-0,72^\circ$, Generator KDM 4 stabil pada sudut $-11,83^\circ$, Generator KDM 5 stabil pada sudut $-11,58^\circ$. Respon sudut rotor ini masih dalam batas yang diperbolehkan.

Dari hasil analisis respon frekuensi, respon tegangan, dan respon sudut rotor dapat disimpulkan bahwa sistem dapat kembali stabil setelah rele *undervoltage* (27) bekerja.

4.8.7 Studi Kasus KDM 1 Lepas dan Kerja Rele *Under* frekuensi (81u)

Saat generator KDM 1 terlepas pada 2 detik maka akan terjadi penurunan frekuensi sehingga diperlukan rele *under* frekuensi (81u) untuk mengatasi gangguan tersebut. *Setting* rele *under* frekuensi sesuai dengan standar ANSI/IEEE C37.106-2003. Selama gangguan frekuensi tidak boleh lebih rendah dari 48,75 Hz (97,5%) selama 20 detik. Sehingga *setting* rele *under* frekuensi (81u) yaitu tidak boleh ada frekuensi dibawah 48,75 Hz (97,5%) bila ada rele ini akan aktif.

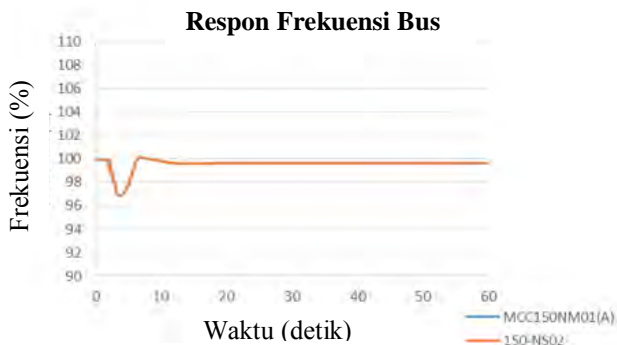


Gambar 4. 51 Respon frekuensi bus ketika KDM 1 lepas

Pada Gambar 4.51 respon frekuensi mengalami penurunan pada 3.2 detik menjadi 97,27%, sehingga pada detik ini rele akan bekerja.

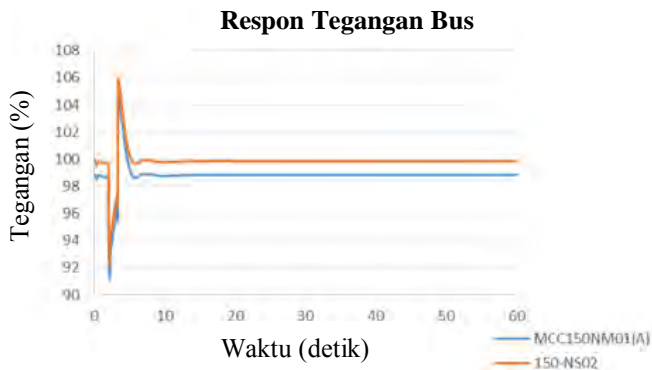
4.8.7.1 Hasil Simulasi ketika Rele *under* Frekuensi (81u) Bekerja.

Berikut ini adalah respon frekuensi, tegangan, dan sudut rotor ketika rele *under* frekuensi bekerja.



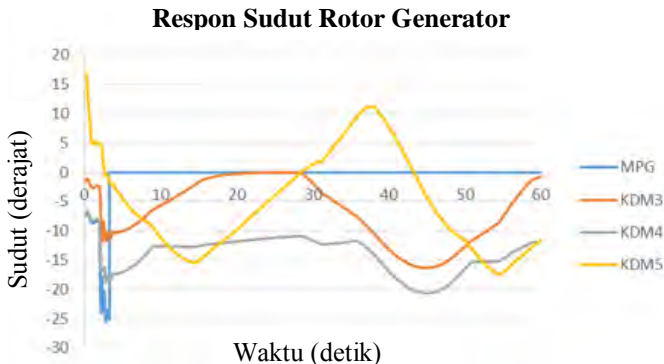
Gambar 4. 52 Respon frekuensi bus ketika Rele *under* frekuensi bekerja

Pada Gambar 4.52 menunjukkan respon frekuensi di *new* bus bar 150-NS02 dan bus MCC150NM01(A). Ketika generator KDM 1 lepas pada 2 detik dan rele *under* frekuensi (81u) bekerja. Frekuensi turun menjadi 99,64%, dengan penurunan terendah 96,89% ketika 3,7 detik. Sehingga dalam studi kasus tersebut respon frekuensi sesuai dengan standar yang diizinkan untuk beroperasi.



Gambar 4. 53 Respon tegangan bus ketika Rele *under* frekuensi bekerja

Pada Gambar 4.53 menunjukkan respon tegangan di *new bus bar* 150-NS02 dan bus MCC150NM01(A) ketika KDM 1 terlepas dari sistem. Tegangan pada bus *new bus bar* 150-NS02 turun sampai 92,33% dan tegangan kembali *steady state* 99,85% dari tegangan normal. Tegangan pada bus MCC150NM01(A) turun sampai 91,23% dan tegangan kembali *steady state* 98,84% dari tegangan normal. Ini masih dalam batas tegangan yang diperbolehkan.



Gambar 4. 54 Respon sudut rotor generator ketika Rele *under* frekuensi bekerja

Pada Gambar 4.54 menunjukkan respon sudut rotor generator ketika generator KDM 1 lepas. Generator KDM 2 digunakan sebagai referensi. Generator MPG mengalami *steady state*. Generator KDM 3 stabil pada sudut $-0,72^\circ$, Generator KDM 4 stabil pada sudut $-11,83^\circ$, Generator KDM 5 stabil pada sudut $-11,58^\circ$. Respon sudut rotor ini masih dalam batas yang diperbolehkan.

Dari hasil analisis respon frekuensi, respon tegangan, dan respon sudut rotor dapat disimpulkan bahwa sistem dapat kembali stabil setelah rele *under* frekuensi (81u) bekerja.

4.9 Rekapitulasi Data

4.9.1 Beban *Load Shedding*

Tabel 4. 5 Rekapitulasi kuantitas beban *load shedding* kasus MPG off

<i>Load Shedding</i>	Beban (%)	Beban Keseluruhan (MW)	Beban yang Dilepas (MW)
<i>Load Shedding status</i>	7,9	90,883	7,2

Tabel 4. 6 Rekapitulasi kuantitas beban *load shedding* kasus KDM1 off

<i>Load Shedding</i>	Beban (%)	Beban Keseluruhan (MW)	Beban yang Dilepas (MW)
<i>Load Shedding 1</i>	10	90,883	9,1
<i>Load Shedding 2</i>	10	90,883	9,1
	14,4		13,1
	Total		22,2

Tabel 4. 7 Rekapitulasi frekuensi dan tegangan ketika *motor starting*

Kasus	ID Bus	f min setelah CB open (%)	f steady state (%)	V min (%)	V steady state (%)	Kondisi	
						f	V
065-G01BM	150-NS02	99,36	99,77	99,12	99,65	√	√

Tabel 4. 8 Rekapitulasi Frekuensi dan Tegangan Ketika Hubung Singkat

Kasus	ID Bus	f max setelah SC (%)	f min setelah CB open (%)	f steady state (%)	V min (%)	V stabil (%)	Kondisi	
							f	V
SC1	MCC150N M01 (A)	102,5	96,73	99,64	39,07	98,84	√	√
	150-NS02				39,12	99,85	√	√

4.9.2 Rekapitulasi Kondisi Frekuensi dan Tegangan ketika Generator Outage

Tabel 4. 9 Rekapitulasi frekuensi dan tegangan ketika generator *outage*

Kasus	ID Bus	f min (%)	f steady state (%)	V>100 % (%)	V min (%)	V steady state (%)	Kondisi	
							f	V
MPG off	MCC1 50NM 01 (A)	97,15	X	X	89,69	90,44	X	√
	150-NS02			X	90,99	91,69		√
MPG off+LS	MCC1 50NM 01 (A)	99,38	99,49	X	89,69	95,05	√	√
	150-NS02			X	90,94	96,16		√
KDM1 off	MCC1 50NM 01 (A)	87,52	X	X	91,23	98,48	X	√
	150-NS02			X	92,33	99,43		√
KDM1 off+LS1	MCC1 50NM 01 (A)	93,41	X	X	91,23	98,38	X	√
	150-NS02			X	92,33	99,34		√
KDM1 off+LS2	MCC1 50NM 01 (A)	98,17	99,84	X	91,23	98,49	√	√
	150-NS02			X	92,39	99,43		√

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan analisis studi koordinasi proteksi dan kestabilan transien sistem tenaga listrik pada PT. Kaltim Methanol Industri, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Integrasi antara PT. Kaltim Methanol Industri dan PT. Kaltim Daya Mandiri menyebabkan arus hubung singkat akan bertambah lebih besar.
2. Setelah dilakukan *resetting* untuk koordinasi proteksi (fasa) terdapat *setting* rele kurang tepat dan koordinasi antar rele yang kurang baik. Terutama *gradding time* antar rele dan *setting pickup*.
3. Untuk setelan eksisting rele *ground fault* terdapat kesalahan pada *gradding time*, selain itu untuk *setting pickup* rele *ground fault* tidak sesuai dengan NGR.
4. Bila terdapat gangguan pada PT. Kaltim Daya Mandiri, dapat mengganggu kestabilan sistem. Maka diperlukan mekanisme *load shedding* untuk menjaga sistem agar tetap stabil. Setelah dilakukan mekanisme *load shedding*, frekuensi sistem menjadi 99,84% dan tegangan pada bus 150-NS02 (6,6 kV) menjadi 99,43%.
5. Dengan adanya integrasi antara PT. Kaltim Methanol Industri dengan PT. Kaltim Daya Mandiri *starting* motor (1150 kW) menjadi lebih baik.

5.2 Saran

Saran yang diberikan setelah dilakukan analisis koordinasi proteksi dan kestabilan transien adalah sebagai berikut:

1. Apabila ada gangguan pada PT. Kaltim Daya Mandiri sehingga mengakibatkan aliran daya kembali dari PT. Kaltim Methanol Industri ke PT. Kaltim Daya Mandiri sehingga perlu dipasang rele *reverse power*. Sehingga tidak ada aliran daya yang kembali ke PT. Kaltim Daya Mandiri.
2. Bila terjadi kegagalan dalam mekanisme *load shedding* maka diperlukan backup rele *under frekuensi* dan *undervoltage*.

3. Hasil dari laporan tugas akhir ini dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan untuk *setting* rele pada sistem kelistrikan di PT. Kaltim Methanol Industri.

Daftar Pustaka

- [1] Anderson, P.M, “*Power System Protection*”, John Wiley & Sons, Inc., Canada, Ch. 5, 1998.
- [2] IEEE Std 242-2001™, “*IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems*”, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, Ch. 15, 2001.
- [3] Préve, Christophe, “*Protection for Electrical Network*”, ISTE Ltd., London, Ch. 7, 2006.
- [4] Gurevich, Vladimir, “*Electric Relays, Principle and application*”, CRCPress, USA, Ch. 6, 2006.
- [5] Ir R.Wahyudi. ”*Diktat Kuliah Pengaman Sistem Tenaga Listrik*”, Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [6] Saadat, H., “*Power System Analysis*”, McGraw-Hill, Inc, 1999.
- [7] Iskandar, Abdulloh, “*Studi Koordinasi Proteksi Akibat Retrofit Sistem Proteksi di PT. Pertamina RU III Plaju*”, Bab. 2, 2015.
- [8] Instruction Manual, “*GE Consumer and Industrial*”, Multilin, 2008.
- [9] Instruction Manual, “*Protection and Control Sepam 1000*”, Merlin Gerin, Schneider Electric.
- [10] Overcurrent and Distance Relay, “*7SJ512 Numercial Overcurrent-Time Protection*”, Siemens, 1997.
- [11] Hafidz, Isa, “*Analisis Kestabilan Transien dan Mekanisme Pelepasan Beban di Project Pakistan Deep Water Container Port*”, Bab. 2, 2014.
- [12] IEEE/CIGRE Joint Task Force on Stability Terms and Definitions, “*Definition and Classification of Power System Stability*”IEEE Transactions on Power system , vol. 19, no. 2, may 2004.
- [13] IEEE, “*Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality*”, IEEE Std 1159-2009 (Revision of IEEE Std 1159-1995), June, 2009.
- [14] Prahadi, Chafid, “*Analisis Kestabilan Transien dan Mekanisme Pelepasan Beban pada PT. Pertamina Refinery Unit V Balikpapan*”, Bab. 2, 2014.

- [15] Rakhmadian, Hilman, “*Analisis Stabilitas Transien dan Mekanisme Pelepasan Beban di PT. Pupuk Kalimantan Timur Pabrik 5 (PKT-5)*”, 2013.
- [16] IEEE, “*Guide for Abnormal Frequency Protection for Power Generating Plants*”, IEEE Std C37.106-2003 (Revision of ANSI/IEEE C37.106-1987), February, 2004.

RIWAYAT PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap S. Andri Murtopo. Lahir di Semarang pada tanggal 21 Juni 1993. Penulis merupakan anak dari pasangan Misjan Priyono dan Endang Supirahayu ini mengawali pendidikannya di SDN Tinalan 1 Kota Kediri, kemudian melanjutkan ke SMPN 1 Kota Kediri tahun 2005. Setelah lulus dari SMPN 1 Kota Kediri pada tahun 2008 penulis melanjutkan pendidikannya ke SMAN 2 Kota Kediri. Kemudian setelah lulus dari SMAN 2 Kota Kediri pada tahun 2011, penulis melanjutkan studi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Jurusan Teknik Elektro, Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga. Semasa kuliah di Jurusan Teknik Elektro penulis aktif dalam berbagai kepanitiaan dan organisasi. Penulis pernah menjadi panitia Lomba Robot Nasional (Baronas) Teknik Elektro ITS. Penulis pernah aktif sebagai kepala departemen humas divisi Workshop di Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro pada periode 2013-2014. Penulis merupakan salah satu asisten di Laboratorium Pengukuran dan Identifikasi Sistem Tenaga (LIPIST) pada periode 2014-2015. Email penulis s.andri.murtopo@gmail.com.

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)